

# UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



Grado en Ingeniería Mecánica  
Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría  
de Estructuras

*Trabajo Fin de Grado*

## “Diseño de foco LED para ensayos de alta velocidad”

---

Autor: Reniery Alexander Amador García

Tutor/es: Jesús Pernas Sánchez

Jorge López Puente

Leganés, 26 de septiembre de 2017



## AGRADECIMIENTOS

*A mi familia que siempre me ha apoyado, en especial a mi madre,  
espero que esto muestre una pequeña gratitud a su esfuerzo por educarme y hacerme  
quien soy.*

*A mis amigos y compañeros que siempre han tendido una mano.*

*Profesores y tutores que han dedicado su tiempo a formarme.*

*Gracias.*

## ABSTRACT

Como proyecto ingenieril que es, la mejora, optimización y eficiencia de un sistema es el objetivo marcado. En este caso un problema de iluminación marca el inicio de la búsqueda de un foco que cumpla con los requerimientos demandados, la tecnología LED es la base sobre la que se apoyan distintos componentes de gestión térmica y eléctrica que ayudan a cumplir las características demandadas, cuidando la funcionalidad sin dejar de lado el diseño. Este foco no solo es un avance en el campo de la iluminación, sino que una vez más el desarrollo en una pequeña rama favorece nuevas líneas de investigación.

## ÍNDICE

0.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.	ESTADO DEL ARTE .....	3
1.1	PRINCIPIO FOTOELÉCTRICO.....	4
1.2	ESTUDIO DE LA LUZ .....	4
1.3	ESTUDIO DE LA MATERIA .....	5
1.4	DEFINICION COMPLETA.....	8
1.5	FUNCIONAMIENTO DE UN LED .....	9
1.6	PLANTEAMIENTO TEORICO DRIVER LED .....	11
1.7	ANALISIS DETALLADO DE CADA MODULO .....	14
1.7.1	FILTRO EMC .....	14
1.7.2	RECTIFICADOR Y CONDENSADOR.....	15
1.7.3	DIODO.....	15
1.7.4	CONDENSADOR .....	16
1.7.5	PFC CORRECTOR DE FACTOR DE POTENCIA .....	18
1.7.6	CIRCUITO PFC .....	21
1.7.7	INVERTER.....	23
1.7.8	TRANSFORMADOR .....	26
1.7.9	RECTIFICADOR Y FILTRO DE SALIDA .....	30
1.7.10	REGULADOR DE TENSION.....	33
1.7.11	CIRCUITO INTEGRADO TL431 .....	34
2.	DISEÑO DEL ESQUEMA ELÉCTRICO .....	37
2.1	PROTOTIPO PREVIO Y ENSAYOS.....	38
2.2	LED COB EDISON .....	43
2.3	LED DRIVER.....	46
2.4	VENTILADOR AXIAL.....	48
3.	GESTIÓN TÉRMICA .....	51
3.1	ELECCIÓN DEL CHIP LED .....	52
3.1.1	LED SMD .....	52
3.1.2	LED COB.....	52
3.1.3	LED MCOB .....	53
3.2	CALCULO DEL CIRCUITO TERMICO .....	54
3.2.1	CALCULO DE LAS RESISTENCIAS TÉRMICAS.....	59

3.3	DISIPADOR EXTERNO.....	64
3.3.1	MODULARES.....	65
3.3.2	DE ALEACIÓN CON ALETAS.....	66
3.3.3	CONVECCION FORZADA .....	67
4.	OPCIONES DE DISEÑO .....	69
4.1	OPCIONES DE CAJA.....	70
4.2	OPCIONES DE MONTAJE.....	72
1.	LA V 8 (205x188x74) con caja 205x205x105 .....	72
2.	LA 8 (125x188x74) con caja 205x205x105 .....	74
3.	LA V 8 (155x188x74) con caja 205x205x105 .....	76
4.	LA 7 (175x125x74) con caja 175x155x75 .....	78
5.	LA V 7 (155x125x74) con caja 175x155x75 .....	80
6.	LA V 7 (205x125x74) con caja 205x205x105 .....	82
4.3	SOPORTE COMPLETO .....	84
4.3.1	Soporte con una sola columna vertical .....	86
4.3.2	Soporte con 2 columnas.....	89
4.3.3	Soporte de columna vertical y adosamiento de las fuentes.....	92
4.3.4	ELECCIÓN DEFINITIVA DE DISEÑO.....	95
5.	PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO .....	96
5.1	VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	97
6.	DIAGRAMA PERT Y GANTT DEL PROYECTO.....	100
7.	PROTOTIPO FINAL .....	102
8.	CONCLUSIONES .....	104
	Bibliografía .....	105
9.	ANEXOS .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Empaquetamiento tradicional y chip LED .....	3
Figura 2: Haz luminoso de un prisma .....	5
Figura 3: Esquema de un espectroscopio para analizar luz emitida por una sustancia [1] .....	5
Figura 4: Espectro característico de algunas sustancias [1] .....	6
Figura 5: Estructura del átomo.....	6
Figura 6: Trayectoria espiral de un átomo .....	7
Figura 7: Un electrón al pasar de una órbita más grande a una pequeña emite un fotón.....	8
Figura 8: Esquema de un diodo tipo P-N [3] .....	9
Figura 9: Esquema básico de la interacción de la corriente de un diodo P-N [3] .....	9
Figura 10: Emisión de fotón de luz al atravesar una corriente un diodo P-N [3] .....	10
Figura 11: Driver externo de altas prestaciones [5] .....	11
Figura 12: Conexión al driver [5] .....	12
Figura 13: Etapas de una fuente de alimentación y variación de las gráficas de corriente alterna a continua [6] .....	12
Figura 14: Diagrama de la fuente conmutada HLG-320H-C2800A [6] .....	13
Figura 15: Esquema de un filtro EMC común [6] .....	14
Figura 16: Filtro EMC con bobinas de núcleo de aire y condensadores .....	15
Figura 17: Distintos tipos de diodos rectificadores.....	15
Figura 18: Condensador electrolítico de aluminio .....	16
Figura 19: Evolución de la onda de corriente en el proceso de rectificación y condensador [6] .....	16
Figura 20: Esquema de un rectificador de media onda [6] .....	17
Figura 21: Esquema de un rectificador de onda completa [6] .....	17
Figura 22: Forma de una corriente continua con rizado [6] .....	18
Figura 23: Desfase de la intensidad respecto a la tensión [6].....	19
Figura 24: Formas de onda en condensador y bobina [6].....	20
Figura 25: Factor de potencia.....	21
Figura 26: Esquema del corrector de factor de potencia activo [6].....	22
Figura 27: Forma de onda en la bobina [6] .....	23
Figura 28: Transistor MOSFET .....	24
Figura 29: Ondas moduladas por PWM [6] .....	24
Figura 30: Esquema de la sección de conmutación [6] .....	25
Figura 31: Señales en el transistor de conmutación [6] .....	26
Figura 32: Símbolos de transformadores [6].....	27
Figura 33: Tensiones en los bobinados primarios y según su relación [6] .....	27
Figura 34: Transformador de chapas en E y toroidal .....	28
Figura 35: Transformador de pulsos .....	28
Figura 36: Bobinado de un transformador de pulsos .....	29
Figura 37: Rectificador y filtro de salida [6] .....	30
Figura 38: Formas de onda: Baja frecuencia a la izquierda y alta frecuencia a la derecha; (A) corriente alterna; (B) media onda rectificada; (C) onda completa rectificada; (D) media onda filtrada; (E) onda completa filtrada [6].....	30
Figura 39: A) diodo Schottky; (B) diodo Schottky doble con cátodo común [6] .....	31
Figura 40: Bobina en la salida de una soladora inverter .....	31

Figura 41: Tipos de filtro de salida: (A) filtro C; (B) filtro L; (C) filtro LC [6].....	32
Figura 42: Rectificador y filtro dual [6].....	32
Figura 43: Regulador de tensión .....	33
Figura 44: Símbolo del optoacoplador [6].....	34
Figura 45: Circuito integrado TL431 [6].....	34
Figura 46: Conexión de los componentes de regulación de tensión [6] .....	35
Figura 47: Esquema eléctrico de la conexión [5] .....	37
Figura 48: Soldaduras del LED en detalle .....	37
Figura 49: Cable de red eléctrica conectado a la entrada del driver .....	38
Figura 50: Tensión de rizado en la salida de un driver [16] .....	39
Figura 51: Proceso de captación de luz en una foto .....	39
Figura 52: Prototipo para los ensayos.....	40
Figura 53: Explosión de un globo a 20000fps con una iluminación de 30000 lúmenes [19] .....	41
Figura 54: Comparativa de prestaciones lumínicas .....	41
Figura 55: Desarrollo del ensayo.....	42
Figura 56: Foco de arco voltaico Arrisun HMI 1800 .....	43
Figura 57: Características eléctricas del modelo seleccionado [8] .....	44
Figura 58: Disposición del circuito del chip LED [8].....	45
Figura 59: Intensidad luminosa en función del valor de corriente [8] .....	45
Figura 61: Driver LED de Mean Well [5].....	46
Figura 60: Modelo probado en el ensayo y seleccionado en el proyecto.....	46
Figura 62: Especificaciones de output del modelo [5] .....	47
Figura 63: Recomendaciones en función de la temperatura ambiente y la carga [5] .....	47
Figura 64: Ventilador o “fan” del disipador [9] .....	48
Figura 65: Esquema de un transformador [20] .....	49
Figura 66: Especificaciones técnicas del ventilador [9] .....	50
Figura 67: Inversor para la conexión de los ventiladores del disipador [10] .....	50
Figura 68: Esquema eléctrico de la conexión desde el transformador a los ventiladores.....	50
Figura 69: Flujo de calor en un LED COB [11].....	51
Figura 70: LED SMD [12].....	52
Figura 71: LED COB [12] .....	53
Figura 72: LED MCOB [12] .....	53
Figura 73: Diferencia de montaje entre un SMD y COB [12] .....	54
Figura 74: Puntos térmicos característicos de un LED [11].....	55
Figura 75: Circuito térmico en SMD .....	56
Figura 76: Circuito térmico en COB.....	56
Figura 77: Esquema térmico SMD .....	56
Figura 78: Esquema térmico COB.....	56
Figura 79: LED COB gama media y alta .....	57
Figura 80: Espesor y superficie de un COB gama media [10].....	58
Figura 81: Espesor y superficie de un COB de gama alta [8].....	58
Figura 82: Circuito térmico LED COB gama alta .....	59
Figura 83: Recomendación de adhesivo de Edison [8] .....	60
Figura 84: Valores máximos de diseño y funcionamiento [8] .....	61
Figura 85: Flujo luminoso en función de la temperatura de la carcasa [8].....	61
Figura 86: Corriente directa admitida en función de la temperatura [8] .....	62



Figura 87: Estimación de vida útil [8] .....	63
Figura 88: Disipador modular [10] .....	65
Figura 89: Disipador de aletas [10] .....	66
Figura 90: Disipador con ventiladores axiales.....	67
Figura 91: Disipador LA 6: dimensiones y resistencia térmica [13] .....	68
Figura 92: Disipador LA V 6: dimensiones y resistencia térmica [13] .....	68
Figura 93: Partes de una caja metálica [14] .....	69
Figura 94: Planos y dimensiones de la caja 175x155x75 (31040113) [15].....	70
Figura 95: Planos y dimensiones de la caja 205x205x105 (31040115) [15].....	71
Figura 96: LA V 8 (205x188x74) con caja 205x205x105 y montaje de 6 LEDs .....	72
Figura 97: Planos y dimensiones de la opción de montaje 1 .....	73
Figura 98: LA 8 (125x188x74) con caja 205x205x10 y montaje de 4 LEDs.....	74
Figura 99: Planos y dimensiones de la opción de montaje 2 .....	75
Figura 100: LA V 8 (155x188x74) con caja 205x205x105 y montaje de 4 LEDs .....	76
Figura 101: Planos y dimensiones de la opción de montaje 3 .....	77
Figura 102: LA 7 (175x125x74) con caja 175x155x75 y montaje de 3 LEDs.....	78
Figura 103: Planos y dimensiones de la opción de montaje 4 .....	79
Figura 104: LA V 7 (155x125x74) con caja 175x155x y montaje de 3 LEDs.....	80
Figura 105: Planos y dimensiones de la opción de montaje 5 .....	81
Figura 106: LA V 7 (205x125x74) con caja 205x205x105 y montaje de 4 LEDs .....	82
Figura 107: Planos y dimensiones de la opción de montaje 6 .....	83
Figura 108: Perfiles de aluminio.....	85
Figura 109: Soporte de 1 columna vertical .....	86
Figura 110: Elementos que componen la opción de soporte 1 .....	87
Figura 111: Planos y dimensiones de la opción de soporte 1 .....	88
Figura 112: Soporte de 2 columnas verticales .....	89
Figura 113: Elementos que componen la opción de soporte 2 .....	90
Figura 114: Planos y dimensiones de la opción de soporte 2 .....	91
Figura 115: soporte de una columna y drivers adosados .....	92
Figura 116: Elementos que componen la opción de soporte 3 .....	93
Figura 117: Planos y dimensiones de la opción de soporte 3 .....	94
Figura 118: Tiempo de uso de los LEDs [8].....	97
Figura 119: Tipo de lámpara del foco Arrisun [17].....	98
Figura 120: Vida útil de la lampara G38 [18].....	98
Figura 121: Encendido de 3 LEDs COB de 100W cada uno .....	102
Figura 122: Montaje eléctrico sencillo del prototipo y funcionamiento .....	102
Figura 123: Instalación directa del chip LED con pasta térmica específica sobre la placa de cobre .....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de diferencia de potencias.....	19
Tabla 2: Características de los distintos modelos de LEDs.....	53
Tabla 3: Coste de la opción de montaje 1.....	72
Tabla 4: Coste de la opción de montaje 2.....	74
Tabla 5: Coste de la opción de montaje 3.....	76
Tabla 6: Coste de la opción de montaje 4.....	78
Tabla 7: Coste de la opción de montaje 5.....	80
Tabla 8: Coste de la opción de montaje 6.....	82
Tabla 9: Tabla resumen de las distintas opciones de montaje .....	84
Tabla 10: Coste de la opción de soporte 1.....	87
Tabla 11: Coste de la opción de soporte 2.....	90
Tabla 12: Coste de la opción de soporte 3.....	93
Tabla 13: Tabla resumen de las opciones de soportes .....	94
Tabla 14: Coste en elementos eléctricos asociados a los montajes .....	96
Tabla 15: Coste total sin incluir el soporte.....	96
Tabla 16: Coste de personal.....	97
Tabla 17: Coste del foco actual .....	98
Tabla 18: Coste total del proyecto .....	99

ANEXOS

Anexo 1: Datasheet ventilador del disipador ..... 107

Anexo 2: Datasheet chip LED COB..... 110

Anexo 3: Datasheet driver LED..... 121



## 0. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este proyecto conlleva aunar distintas líneas de investigación, así como de análisis con un objetivo común: conseguir un foco que no se sobrecaliente y proporcione las mismas características que el anterior.

Cabe mencionar que el antiguo es un foco de iluminación pensado para escenarios de rodaje de televisión o cine, que emite un gran flujo de calor debido a su naturaleza de foco incandescente y su consumo es elevado. Esto ya no solo supone un aumento del coste al utilizarlo sino también un riesgo laboral debido a posibles quemaduras o accidentes. Para evitar esa emisión de calor y mejorar estas condiciones se tomó como opción la tecnología LED o “luz fría” esto no significa que no emita calor, sino que ese flujo se produce en sentido contrario a la emisión de la luz, que se traduce en la facilidad en la búsqueda de una solución para gestionar térmicamente ese flujo de calor, además el ahorro energético con esta tecnología es notablemente mayor. Estos LEDs no vienen en el empaquetamiento tradicional, sino que vienen montados sobre un sustrato y equivalen a un conjunto de LEDs conectados entre si que funcionan como uno solo.

Los LEDs se montan sobre un disipador de calor de convección forzada para mantener la temperatura del dispositivo en un valor óptimo para su trabajo.

Solucionado el problema térmico hay que buscar la manera de alimentar estos LEDs, los cuales funcionan en corriente continua que no es la misma que la convencional de la red eléctrica que es corriente alterna. Desechada la opción de que fuesen alimentados por baterías porque se buscaba que se pudiesen enchufar directamente a la red, se busca un convertidor de alterna-continua para proceder al montaje.

Estos convertidores denominados *drivers LEDs* transforman la corriente alterna a continua y hacen de fuente de corriente constante, es decir, emiten un amperaje que no varía. La razón de que sean fuentes de corriente se debe a que los LEDs son muy sensibles a estas variaciones y desemboca en menos vida útil y daño del dispositivo.

Pero este proyecto es tan solo una pequeña ayuda al estudio de los ensayos de alta velocidad en los que se utilizan cámaras de alta capacidad, que necesitan unas prestaciones de luz muy exigentes para garantizar una grabación optima con claridad y en buenas condiciones para un estudio de los ensayos apropiado.

Este conjunto de elementos que hacen posible el funcionamiento óptimo de los LEDs se aún en un soporte versátil y de fácil desplazamiento que garantiza una conexión sencilla a la red eléctrica convencional, un montaje fácil que no genere problemas complejos y un coste bajo para una instalación exigente.



Una vez trazadas las líneas generales del proyecto es necesario enumerar los distintos objetivos marcados durante el desarrollo del mismo que se pueden resumir en los siguientes:

1. La obtención de un foco sin sobrecalentamiento.
2. Mismas prestaciones lumínicas que la instalación actual.
3. Coste bajo o reducido para una instalación de esas características.
4. Versatilidad y agilidad en el soporte.
5. Elementos de calidad que garanticen una larga vida útil sin comprometer el coste económico.
6. Instalación y montaje sencillo que no requiera mano de obra de gran cualificación.
7. Esfuerzos concentrados en la búsqueda de recursos idóneos primando la funcionalidad.
8. Materiales de bajo peso para el soporte pero que sean robustos.
9. Montaje electrónico compacto y de fácil uso.
10. Abrir nuevas líneas de investigación en este campo.
11. Satisfacer las necesidades de investigación en otras ramas de la ingeniería, con el foco como recurso.
12. Implementación de dos líneas de estudio ingenieriles en la solución del problema.

## 1. ESTADO DEL ARTE

La iluminación es un sector en el que los avances son escasos, la tecnología LED es la cuarta generación en innovación después del fuego, la lámpara incandescente y la lámpara fluorescente. Es por ello que dicha tecnología supone una auténtica revolución, aúna eficiencia, tecnología punta, responsabilidad, sostenibilidad y ahorro energético.

El principio básico de funcionamiento de un LED (*light emitting diode*) se basa en el efecto fotoeléctrico, que se desarrollara posteriormente de manera más amplia, según el cual algunos materiales emiten luz al someterse a una corriente eléctrica.

Los chips LED utilizados se pueden definir como varios LEDs adheridos directamente a un sustrato, es decir, el empaquetamiento tradicional de un led como se puede observar en la figura 1 ya no es el empleado en este montaje, en su lugar es un chip.



Figura 1: Empaquetamiento tradicional y chip LED

El chip está compuesto por una serie de capas creadas en materiales semiconductores cuyo cometido es convertir la electricidad en luz, estos componentes son de apenas unos milímetros, sin embargo, el principio de funcionamiento de un diodo LED convencional no varía del de un chip led como se explica brevemente a continuación, es decir, el montaje no condiciona los principios básicos de funcionamiento.

La emisión de la luz del LED se produce cuando la corriente pasa entre los materiales semiconductores del chip. Los semiconductores son de tipo P (carga positiva) y tipo N (carga negativa) y la luz es generada cuando la corriente atraviesa el punto de unión entre ambos (punto PN). En este punto los electrones de la carga negativa ocupan huecos de los de la carga positiva perdiendo energía y quedando en forma de fotón, o lo que es lo mismo: luz.

## 1.1 PRINCIPIO FOTOELÉCTRICO

Previamente se ha desarrollado de manera escueta y resumida el principio por el cual se genera luz en un LED, pero para entender estos conceptos se debe desarrollar de manera más amplia esta teoría, desde su origen y así comprender la magnitud de avance tecnológico y desarrollo científico en un chip LED presente en este proyecto.

Dicho principio se basa en la emisión de electrones por un material al incidir sobre él una radiación electromagnética. Hertz observó este fenómeno al darse cuenta de que el arco que salta entre dos electrodos conectados a alta tensión alcanza distancias mayores cuando se ilumina con luz ultravioleta que cuando se deja en la oscuridad, sin embargo, fue Einstein quien le dio un razonamiento teórico a este fenómeno.

## 1.2 ESTUDIO DE LA LUZ

La generación de luz se produce gracias a una partícula denominada fotón, la idea de que la luz (y más generalmente la radiación electromagnética) estuviera compuesta por un conjunto de partículas había sido propuesta por Newton, existen en la naturaleza fenómenos como la interferencia y la difracción que solamente se pueden explicar si la radiación es de naturaleza ondulatoria, pero Einstein en su trabajo sugirió que la suposición de que la luz está formada de cuantos discretos (partículas) de energía podía ser aplicada a algunos fenómenos que la teoría ondulatoria de la luz no podía explicar, como por ejemplo, la fluorescencia y el efecto fotoeléctrico. Dicho en otras palabras más claras: se debatía si la luz es una onda o una partícula.

Los estudios de Einstein dan como resultado que la luz es una dualidad onda-corpúsculo. Consideró la radiación contenida en un volumen dado, y calculó las fluctuaciones en los valores de la energía. Estas fluctuaciones son iguales a la suma de dos términos: uno de ellos es igual al que se obtendría con base en la teoría ondulatoria de Maxwell; el otro término es igual al que se obtendría de acuerdo con la teoría corpuscular de la luz. [1]

De igual modo para entender de manera completa, resumida, concisa y clara el principio que fundamenta la emisión de luz en un LED, se debe hacer un análisis en los materiales. Para el estudio de la luz que emiten distintas sustancias se tomó como base el análisis

espectroscópico de la luz, esto es, la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante.

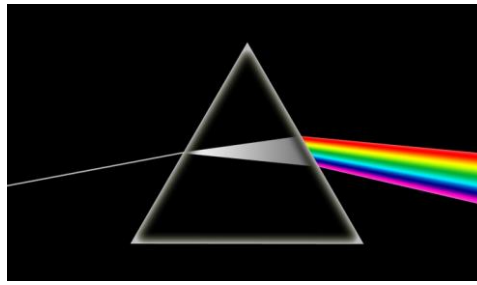


Figura 2: Haz luminoso de un prisma

### 1.3 ESTUDIO DE LA MATERIA

Newton con el experimento que vemos en la figura 3 en particular, descubrió de esta manera que la luz blanca que llega del Sol está compuesta por todos los colores, formando un continuo. Esto significa que al fijarse en los colores que salen del prisma, se pasa de un color a otro de manera continua, imperceptible.

Esto puede parecer irrelevante, pero es fundamental para la utilización de un material idóneo en la fabricación de un chip LED como se ve a continuación:

El estudio se hizo calentando las sustancias y haciendo incidir la luz que emiten sobre un espectroscopio, de manera esquemática lo vemos en la figura 3. Éste es un aparato que tiene un prisma para analizar la luz. De esta forma se descubrió que la luz que emiten las sustancias no está formada, en general, por un continuo de colores, sino que solamente están presentes ciertos colores. Por ejemplo, en los gases sólo se observan rayas o líneas de ciertos colores. A este conjunto de colores se le llama el espectro de la sustancia. EL colimador ayuda a homogeneizar el haz tanto en direcciones como en propiedades para dar así un “haz paralelo”.

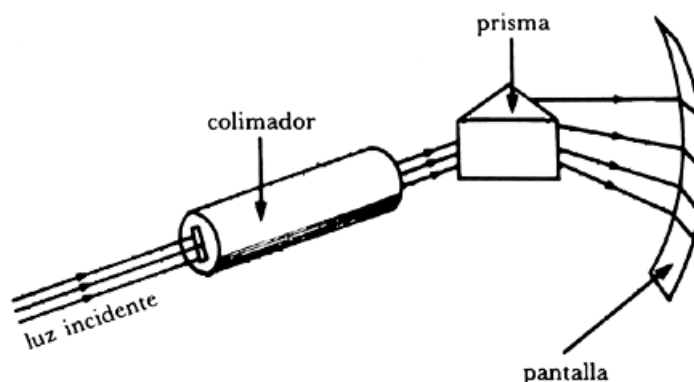


Figura 3: Esquema de un espectroscopio para analizar luz emitida por una sustancia [1]



Este estudio tiene interés en el proyecto por una razón clara: las partículas de las sustancias son las que emiten el espectro característico de la misma, como podemos ver en la figura 4. Se presentaba la cuestión de cuáles eran los procesos por medio de los cuales las partículas que componen un cuerpo reciben energía (por ejemplo, del calentamiento) y la emiten en forma de luz (o más bien, de ondas electromagnéticas) de frecuencias bien definidas.

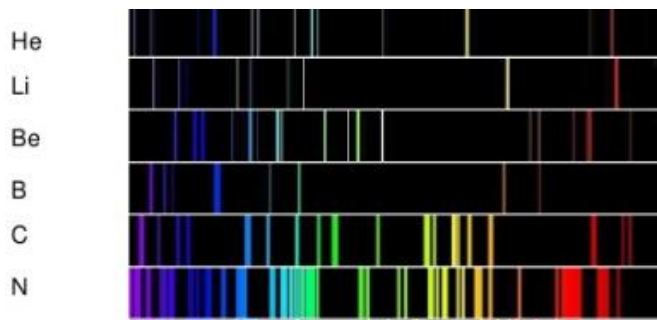


Figura 4: Espectro característico de algunas sustancias [1]

De los distintos estudios de las partículas de las sustancias el satisfactorio fue el de Rutherford, en el que concluía que el átomo tiene una estructura formada por un núcleo de carga eléctrica positiva, de mucha masa, en su centro y a su alrededor un conjunto de electrones, de carga eléctrica negativa, girando alrededor del núcleo como se ve en la figura 5.

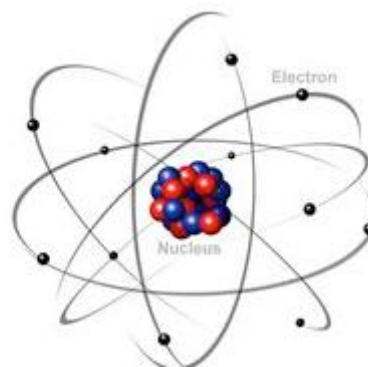


Figura 5: Estructura del átomo

El problema que surgió de este modelo fue la estabilidad del átomo según el modelo de Rutherford, no podía reconciliarse con los fundamentos de la mecánica de Newton y el electromagnetismo de Maxwell.

La teoría electromagnética desarrollada por Maxwell requiere que si una partícula con carga eléctrica, como el electrón, se acelera, tiene que radiar energía electromagnética. Un electrón girando alrededor de un núcleo se acelera, dado que las dimensiones de la órbita que recorre el electrón alrededor del núcleo dependen de la energía que tenga (y que al radiar energía la va perdiendo), como consecuencia las dimensiones de la órbita tienen que disminuir. Según esto el electrón debería seguir una trayectoria en espiral, como se ve en la figura 6. [1]

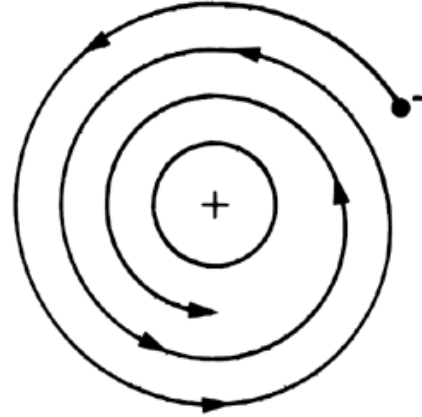


Figura 6: Trayectoria espiral de un átomo

Esto provoca dos grandes incongruencias:

- La primera es que la radiación así emitida, según la teoría clásica, debe ser de frecuencias continuas; por lo tanto, el espectro de tal átomo debería ser continuo.
- En segundo lugar, después de cierto tiempo, la órbita del electrón será tan pequeña que chocaría con el núcleo y, por lo tanto, desaparecería el átomo. Es decir, al aplicar la física clásica al modelo de Rutherford predice que la materia no es estable.

#### 1.4 DEFINICION COMPLETA

Una vez entendida la importancia del estudio espectroscópico en el proyecto, así como la dualidad de la luz como naturaleza ondulatoria y corpuscular se aúnan estos dos estudios para dar como resultado el principio que nos interesa.

Debido a las incongruencias y consecuencias de dichos estudios la hipótesis del fotón de Einstein cobra protagonismo y se sugiere su aplicación teniendo como resultado lo siguiente:

- Abandonar la teoría electromagnética clásica en la medida de suponer que, en órdenes de magnitudes atómicas, los electrones pueden girar en órbitas estables sin radiar continuamente energía en forma de ondas electromagnéticas.
- Así, la energía de un electrón depende de las dimensiones de su órbita. Al pasar el electrón de una órbita estable a otra, y en vista de que estas órbitas tienen dimensiones distintas, entonces el electrón tendrá otra energía. De esta manera el electrón cambia de energía solamente al transferirse de una órbita a otra. Mientras permanezca en su órbita el electrón tendrá la misma energía.

Con esto llega el enunciado más importante y que permite entender el concepto de fotón el cual se utilizó al principio y se atribuyó la consecuencia de la emisión de luz en un LED:

- La energía absorbida o emitida por un electrón al cambiar de órbita está asociada con la absorción o emisión de fotones individuales o cuantos de energía. La frecuencia de estos fotones multiplicada por la constante de Planck, o sea su energía, es igual a la diferencia de energía del electrón al pasar de una órbita a otra. Esto quiere decir que el cambio de energía que experimenta el electrón es justamente la energía del fotón absorbido o emitido, en caso de que el electrón pase de una órbita más grande a una pequeña la energía de ese fotón es la que nos permite la generación de luz como se ve de manera muy esquemática en la figura 7. [2]

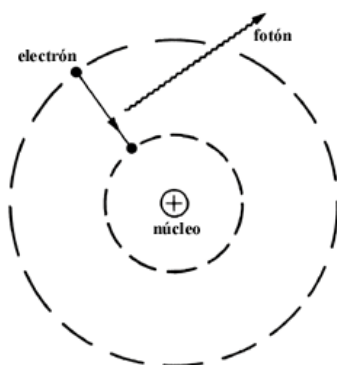


Figura 7: Un electrón al pasar de una órbita más grande a una pequeña emite un fotón

$$E = h * v$$

$$E = \text{energía} \quad h = \text{Cte. de Planck}$$

$$v = \text{frecuencia}$$

## 1.5 FUNCIONAMIENTO DE UN LED

Una vez entendido el concepto de fotón, la teoría que explica el funcionamiento de un LED se puede fundamentar en los conceptos previamente vistos y desarrollados.

Un diodo LED semiconductor común se compone de dos cristales de silicio (Si) de polaridades o regiones diferentes: una tipo-P (positiva) en función de ánodo y otra tipo-N (negativa) en función de cátodo. Cuando ambas regiones se unen forman el chip de un diodo tipo P-N. Una vez que un diodo así formado lo energizamos con una fuente de corriente eléctrica directa (C.D.), cuando conectamos el polo negativo de dicha fuente de suministro eléctrico al polo también negativo o cátodo del diodo, si la tensión o voltaje es el adecuado éste se polariza directamente permitiendo que la corriente de electrones lo atraviese y circule por todo el circuito eléctrico.

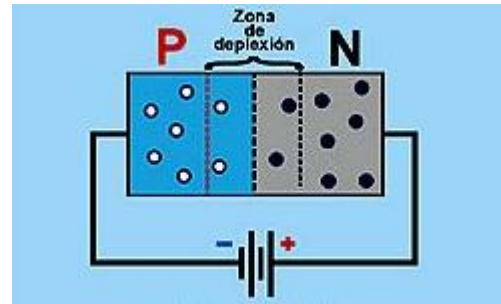


Figura 8: Esquema de un diodo tipo P-N [3]

Cuando un diodo se encuentra debidamente polarizado, los electrones existentes en exceso en la región "N" adquieren suficiente energía para vencer la resistencia que le ofrece a su paso la barrera de potencial que se crea en el punto de unión o juntura entre las dos regiones. Este incremento de energía permite a los electrones atravesar esa barrera, pasar a la región "P" y unirse a los huecos allí existentes también en exceso, como se puede observar en el esquema de la figura 9 proporcionando que puedan seguir circulando por el interior del diodo. A continuación, la corriente de electrones continuará circulando por el resto del circuito eléctrico externo hasta terminar su recorrido en el polo positivo (+) de la fuente de suministro eléctrico, ya sea una batería o cualquier otra fuente de corriente directa (C.D.) a la que se encuentre conectado el diodo. [3] [4]



Figura 9: Esquema básico de la interacción de la corriente de un diodo P-N [3]

Para un chip LED el principio de funcionamiento básico es exactamente el mismo con una ligera diferencia: al contrario de lo que ocurre con los diodos comunes, no emplea cristales de silicio (Si) como elemento semiconductor, sino una combinación de otros tipos de materiales, igualmente semiconductores, pero que poseen la propiedad de emitir fotones de luz de diferentes colores cuando lo recorre una corriente eléctrica.

Se siguen formando dos regiones “N” y “P” en el punto de unión o juntura de esas dos regiones se forma, igualmente, una barrera de potencial, cuya función es impedir el paso de los electrones desde la región negativa “N” hacia la positiva “P” cuando no se encuentran debidamente polarizados y los electrones no poseen la suficiente energía para poder atravesarla.

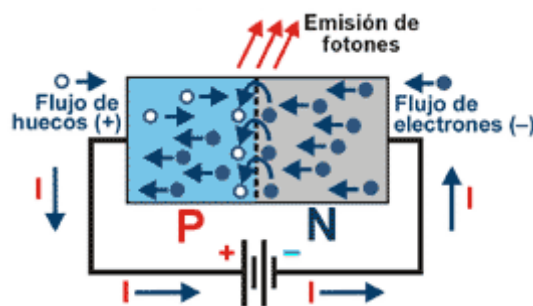


Figura 10: Emisión de fotón de luz al atravesar una corriente un diodo P-N [3]

Cuando aplicamos a los extremos del LED una tensión o voltaje que permita polarizarlo directamente, los electrones provenientes de la fuente de suministro de corriente directa (C.D.) comienzan a fluir a través del diodo. Bajo esas condiciones, cada vez que un electrón en exceso con carga negativa (–) presente en la región “N” adquiere la suficiente energía como para poder vencer la resistencia que le ofrece la barrera de potencial, la atraviesa y se combina con un hueco positivo en exceso en la región “P”.

En el mismo instante que ocurre esa combinación, la energía en exceso que adquirió dicho electrón para poder atravesar la barrera de potencial, se transforma en energía electromagnética, que libera, en ese preciso momento, en forma de fotón de luz esquematizado en la figura 10.

El color de la luz emitida por los fotones de un LED en particular se corresponde con una determinada frecuencia del espectro electromagnético visible al ojo humano. En cualquier caso, la luz y color de un determinado LED depende de la composición química de los materiales semiconductores utilizados en la fabricación del chip.

De esta manera escueta y resumida se puede entender el fenómeno por el cual el LED emite luz al ser atravesado por una corriente.

## 1.6 PLANTEAMIENTO TEORICO DRIVER LED

En el desarrollo de la iluminación mediante la tecnología LED influye de manera importante la alimentación, el funcionamiento y la vida de estos componentes dependen de una corriente constante. El driver o fuente de alimentación la estabiliza y le proporciona protección térmica, como se verá la variable de la temperatura en un LED marca su vida de funcionamiento y principal problema.

Al contrario que una bombilla incandescente o fluorescente, un LED no se conecta directamente a la corriente, sino que necesita una fuente de alimentación o driver. Este componente se ocupa de transformar la tensión que recibe de la red eléctrica la cual es CA (corriente alterna), adaptándola a la CC (corriente continua) con la cual funciona un LED. Dado que la conexión que se realizara en este proyecto será la de una instalación convencional de red eléctrica, es decir, de corriente alterna se necesita de un driver que no solo realizara esa transformación, sino que además adaptara el voltaje de salida. Debido a la baja impedancia de un LED estos funcionan a una tensión de corriente baja, por lo que una tensión elevada no sólo no funcionaría, sino que los quemaría.

En lámparas y luminarias LED de alta potencia y aplicaciones destinadas a usos industriales, o de estudios con exigencias lumínicas muy altas como el caso de este proyecto constituido por múltiples chips LED, los drivers son externos y regulan la potencia de varios chips a la vez: la tensión se irá regulando automáticamente en función de la cantidad de LEDs que se conecten.



Figura 11: Driver externo de altas prestaciones [5]

Estos drivers tienen que asegurar una máxima eficacia, ya que esto implicara cero perdidas de energía y mayor tiempo de vida de los chips LEDs.

Si se entra más en detalle en los aspectos teóricos que posibilitan el funcionamiento de un driver, se encontraran múltiples componentes que se analizaran a continuación.

Se empieza por entender la posición de esta fuente de corriente en la instalación eléctrica del proyecto, esquematizada en la figura 12.

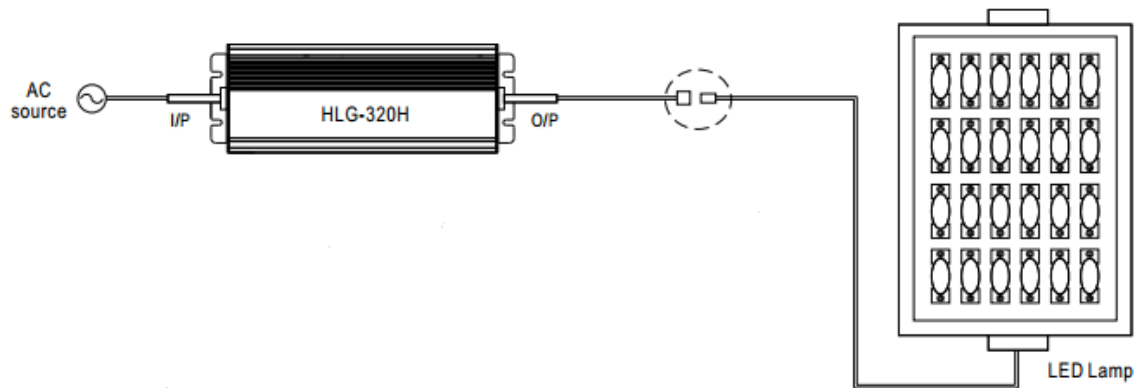


Figura 12: Conexión al driver [5]

Se pueden observar tres partes bien definidas:

1. Input: conexión a la red eléctrica convencional que nos dará CA.
2. Driver
3. Output: salida de CC que va directo a la lámpara LED.

El estudio se centrará en la transformación que se produce en este componente y que nos permite conectar El conjunto de chips LED a la red eléctrica.

Debido a la amplia gama de drivers que se encuentran en el mercado y distintos métodos de transformación de corriente y estabilización, no se pueden abarcar todos estos campos y el estudio se centrara en el funcionamiento del driver del diseño del foco LED utilizado, cuyo modelo es HLG-320H-C2800A.

Dicho modelo consiste en una fuente de alimentación conmutada con corrección del factor de potencia de manera activa (PFC activo), para comprender las distintas etapas esquematizadas en la figura 14 se explicará de manera detallada cada uno de los bloques que componen el driver.

De manera aún más concisa como se muestra en la figura 13 así se desarrolla la transformación de la corriente en un driver conmutado:

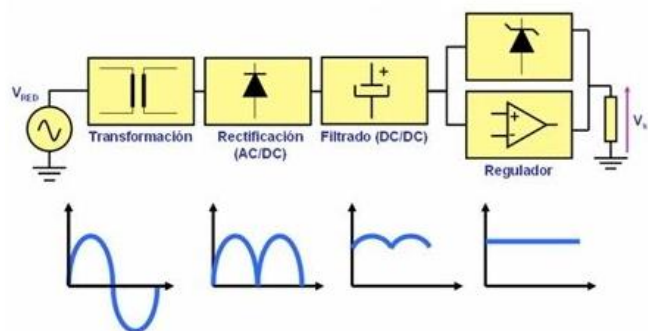


Figura 13: Etapas de una fuente de alimentación y variación de las gráficas de corriente alterna a continua [6]

Tomando el anterior esquema como base si se extiende al diagrama propio y más en detalle del driver utilizado en este proyecto se tiene el siguiente diagrama de bloques:

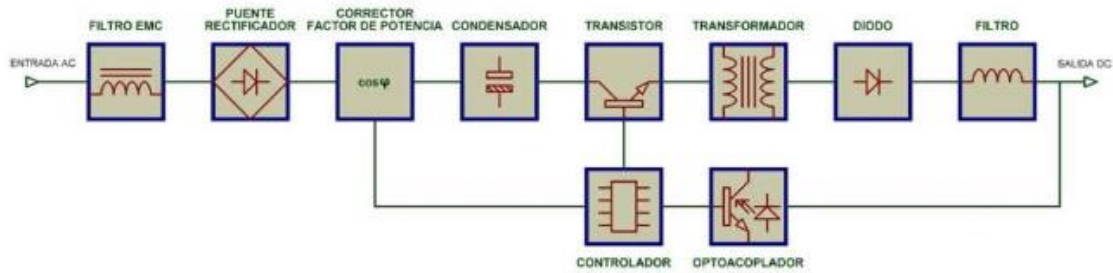


Figura 14: Diagrama de la fuente conmutada HLG-320H-C2800A [6]

De acuerdo con dicha figura 14 se expone a continuación una pequeña descripción de dichos elementos que posteriormente se desarrollará de manera más concreta en los aspectos fundamentales de este convertidor teniendo como introducción lo siguiente:

- **Filtro EMC:** su función es absorber los problemas eléctricos de la red, como ruidos, armónicos, transitorios, etc. También evita que la propia fuente envíe interferencias a la red.
- **Puente rectificador:** solo deja pasar la corriente en un sentido, dado que se fundamenta en el principio de un diodo que se expondrá más adelante, de modo que convierte la corriente alterna en corriente pulsante.
- **Corrector del factor de potencia:** en determinadas circunstancias, la corriente se desfasa respecto a la tensión, lo que provoca que no se aproveche toda la potencia de la red. Este es un componente fundamental en el driver.
- **Condensador:** amortigua la corriente pulsante para convertirla en corriente continua con un valor estable.
- **Transistor:** se encarga de cortar y activar el paso de la corriente. De este modo se convierte a la corriente continua en corriente pulsante.
- **Controlador:** activa y desactiva el transistor. Esta parte del circuito suele tener varias funciones, como protección contra cortocircuitos, sobrecargas, sobretensiones... También controla al circuito de corrección del factor de potencia. Además, mide la tensión de salida de la fuente, y modifica la señal entregada al transistor, para regular la tensión y mantener estable la salida.
- **Transformador:** reduce la tensión, y además aísla físicamente la entrada de la salida.
- **Diodo:** convierte la corriente alterna del transformador a corriente pulsante.
- **Filtro:** convierte la corriente pulsante en continua.
- **Optoacoplador:** enlaza la salida de la fuente con el circuito de control, pero manteniéndolos físicamente separados.



## 1.7 ANALISIS DETALLADO DE CADA MODULO

### 1.7.1 FILTRO EMC

La interferencia electromagnética es la perturbación que ocurre en cualquier circuito, componente o sistema electrónico causado por una fuente de radiación electromagnética externa o interna. El filtro EMC también conocido como EMI (*ElectroMagnetic Interference*) evitara el llamado “ruido electromagnético”, es decir, interferencias o picos de tensión que se transmiten a través de la red eléctrica.

Las fuentes conmutadas producen bastante ruido eléctrico, debido a los picos de tensión que genera la conmutación del transistor y los diodos rectificadores, todo este ruido desemboca en problemas en las maquinas más sensibles, y los chips LED, lo son.

La principal función es aislar todo el equipo propio del driver de las distintas perturbaciones de la red eléctrica, es por ello, que este filtro se monta en la entrada o input de la fuente.

Este filtro suele estar compuesto principalmente por una o varias bobinas en serie, uno o varios condensadores en paralelo, o una combinación de ambos sistemas como se ve en el esquema de la figura 15 dado que el objetivo no es profundizar en demasía en conceptos electrónicos sino comprender el funcionamiento, es necesario tener presente dos ideas fundamentales:

- Las bobinas evitan el paso de corriente de alta frecuencia.
- Los condensadores evitan el paso de corriente de baja frecuencia.

Los campos electromagnéticos tienen un alcance distinto según su frecuencia, es decir que se propagan con más facilidad es el caso de la radio o televisión a altas frecuencias, la red eléctrica tiene una frecuencia baja en torno a  $50\text{Hz} - 60\text{Hz}$ , si se eliminan las altas frecuencias se evita mucho ruido.

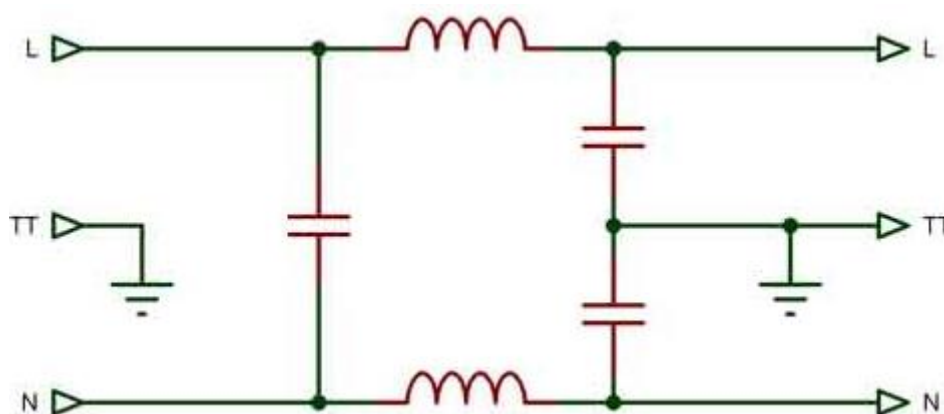


Figura 15: Esquema de un filtro EMC común [6]

Al montar bobinas en serie, solo puede atravesarlas la corriente continua, o la alterna de baja frecuencia (BF). Los condensadores en paralelo solo dejan pasar la corriente de alta frecuencia (AF), sin afectar a la corriente continua o alterna BF.

También se amortiguan los picos de tensión, que al tener una duración tan corta se comportan como la corriente de alta frecuencia.

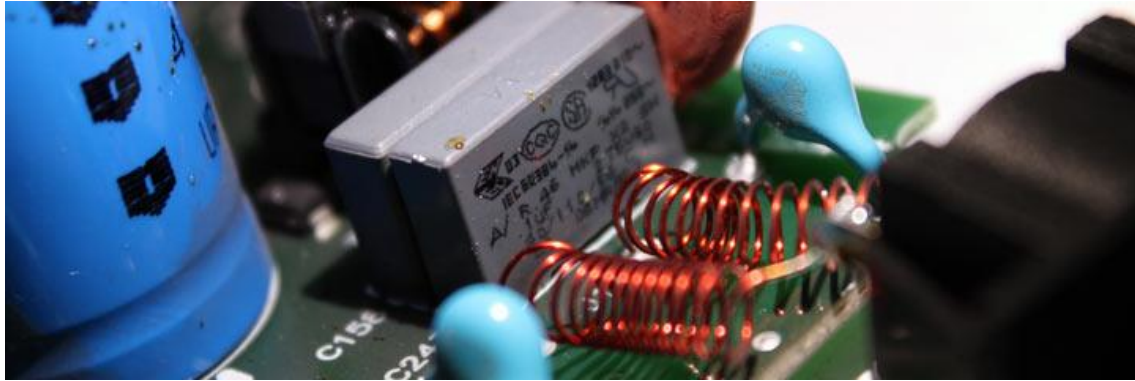


Figura 16: Filtro EMC con bobinas de núcleo de aire y condensadores

### 1.7.2 RECTIFICADOR Y CONDENSADOR

En este apartado se explicará la etapa de rectificación y el condensador, donde la corriente alterna se convierte en continua.

Para convertir la corriente alterna en continua, necesitamos de un componente semiconductor, es decir que deja pasar la corriente solo bajo unas determinadas condiciones. Un diodo se compone, básicamente, de dos cristales de silicio conectados entre sí. Estos cristales tienen características especiales que únicamente permiten el paso de electrones en un sentido, tal y como se desarrolló en la explicación teórica de un diodo de tipo P-N. Gracias a esta característica, podemos eliminar todos los semiciclos negativos o positivos de una corriente alterna.



Figura 17: Distintos tipos de diodos rectificadores

### 1.7.3 DIODO

Los diodos pueden conectarse de forma que inviertan el signo de uno de los semiciclos. De esta forma, en vez de eliminar un semiciclo, se consigue aprovechar, para sacar el máximo rendimiento de la corriente de entrada. A este tipo de conexión se le conoce como puente rectificador.

#### 1.7.4 CONDENSADOR

Un condensador es, básicamente, un componente fabricado a base de capas conductoras separadas por un elemento aislante. Las capas están muy cerca unas de otras, lo que permite que los electrones, al tener carga negativa, se vean atraídos por la capa con carga positiva.



Figura 18: Condensador electrolítico de aluminio

Este comportamiento hace que el condensador se convierta en una especie de batería con muy poca carga. Al aplicar corriente, el condensador se carga, y al desconectarlo, se descarga a través de los componentes conectados.

Una vez planteados estos conceptos se desarrollará las distintas etapas que sufre la corriente en la transformación de manera resumida y su evolución expuesta en la figura 19.

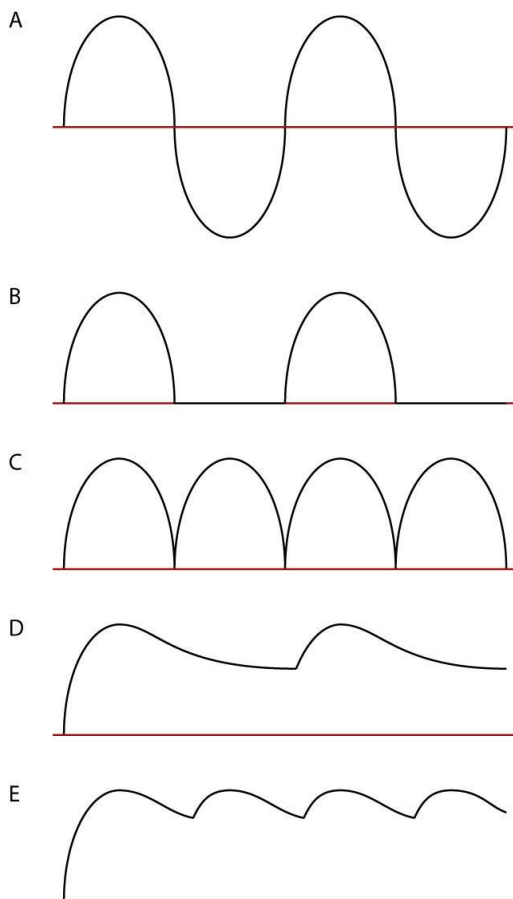


Figura 19: Evolución de la onda de corriente en el proceso de rectificación y condensador [6]

1. En la figura A se puede ver la forma de onda sinusoidal típica de la corriente alterna.
2. Cuando se conecta un diodo en serie con la corriente, en su salida se encuentra la onda que aparece en la figura B. Se elimina el semiciclo negativo de la onda anterior. (Rectificador de media onda)
3. Utilizando un puente rectificador se consigue aprovechar la corriente de los dos semiciclos. La onda de salida será la de la figura C. (Rectificador de onda completa)
4. Al añadir un condensador a la salida del diodo, figura D, se amortigua la onda, debido a que el condensador se carga mientras la onda asciende, y se descarga lentamente cuando desciende.
5. El condensador a la salida de un rectificador de onda completa transforma la señal, que es similar a la figura E. Como se ve, se parece más a una corriente continua que usando un rectificador de media onda.

Previo a culminar el proceso de transformación de la onda, se explicarán los conceptos de rectificador de media onda y rectificador de onda completa necesarios para la comprensión total de dicho apartado.

- Se habla de rectificador de media onda, porque perdemos la mitad de la onda, al añadir un condensador a la salida de la onda de la figura B la onda se suaviza el condensador se carga al ascender y posteriormente se descarga lentamente.

En el semiciclo positivo el diodo deja pasar corriente y el condensador se carga, como se puede apreciar en la figura 20 mientras que durante el semiciclo negativo el diodo no conduce, y el condensador deja salir su carga.

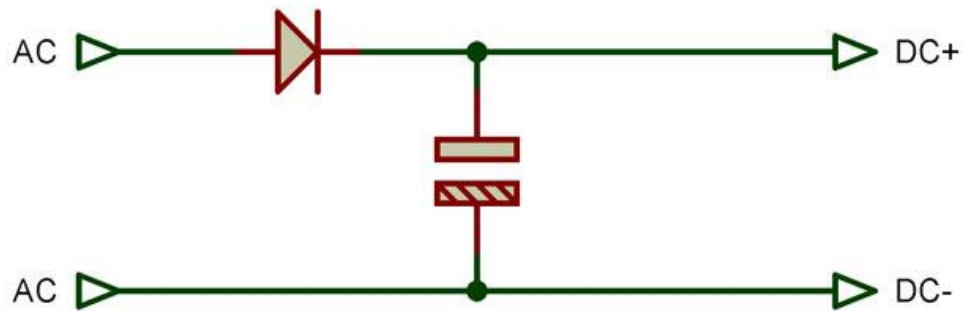


Figura 20: Esquema de un rectificador de media onda [6]

- En el caso del rectificador de onda completa hay cuatro diodos, que permiten que durante un semiciclo la corriente pase por dos de ellos, y en el semiciclo contrario pase por los otros dos, esquematizado en la figura 21. Así es como se aprovecha toda la corriente en un rectificador de onda completa. El esquema es idéntico si se utiliza un puente rectificador o cuatro diodos individuales.

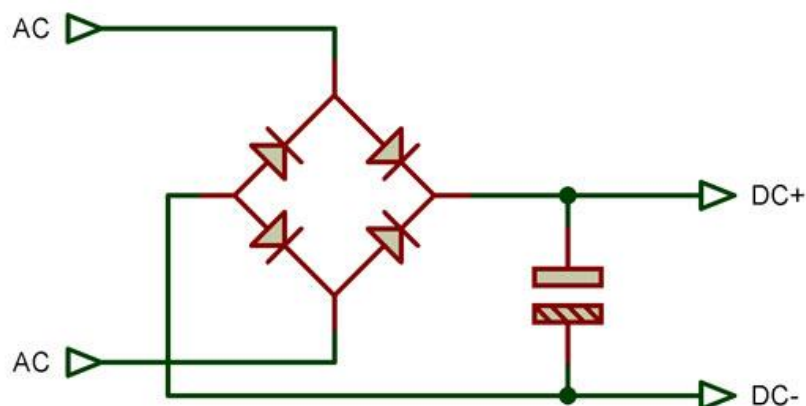


Figura 21: Esquema de un rectificador de onda completa [6]

Una vez comprendidos ambos conceptos se da pie al último paso para la transformación de la onda, se tiene la apariencia de onda propia de la figura E la cual hay que terminar

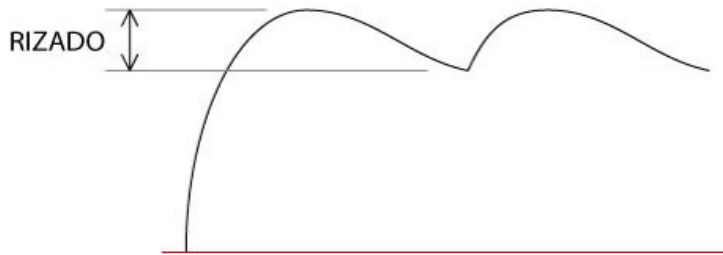


Figura 22: Forma de una corriente continua con rizado [6]

de corregir, ya que la corriente continua es una señal totalmente horizontal. A estos altibajos le llamamos rizado. Cuanto menor sea este rizado, más se parecerá la señal a una corriente continua, y por tanto será de mejor calidad.

Hay varias formas de reducir o eliminar el rizado:

- Aumentando la capacidad del condensador, la caída de la corriente es más lenta, por lo que la curva se suaviza.
- Añadiendo una bobina en serie. La bobina en serie se comporta igual que un condensador en paralelo, de modo que se refuerza este efecto.
- Utilizando un estabilizador a una tensión menor. Al añadir un elemento semiconductor que elimine la parte alta de la onda se consigue una corriente continua perfecta, aunque tendrá una tensión menor. En esta etapa de las fuentes conmutadas no se suelen utilizar estabilizadores.

#### 1.7.5 PFC CORRECTOR DE FACTOR DE POTENCIA

Uno de los bloques más importantes en el driver se encuentra en el corrector de factor de potencia o circuito PFC.

En corriente alterna, la tensión y la intensidad tienen formas de onda independientes. La tensión depende de la red, pero la intensidad varía en función del consumo del circuito conectado. Se trata de un concepto importante ya que el chip LED debe funcionar a corriente continua o estas variaciones reducirán su vida, intensidad de luz, luminosidad, etc.

Las cargas resistivas son lineales, es decir, que su consumo es proporcional a la tensión aplicada, porque la resistencia es fija. Sin embargo, es habitual que las cargas no sean puramente resistivas, y por lo tanto el consumo no sea lineal.

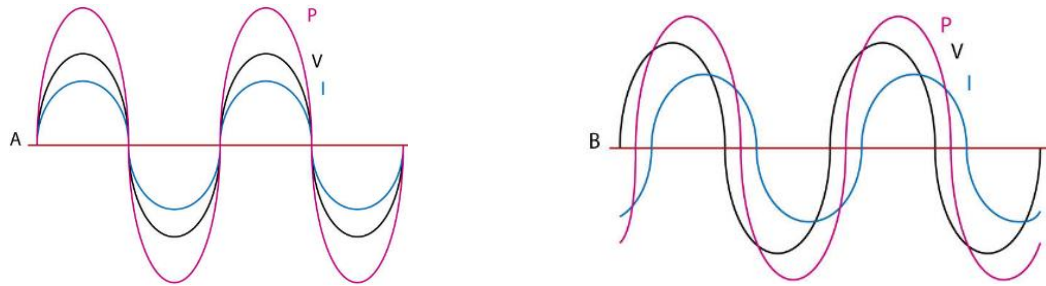


Figura 23: Desfase de la intensidad respecto a la tensión [6]

Para entender este desfase en una fuente de alimentación se utiliza un ejemplo práctico:

Cuando se conecta un motor, la forma de onda de la intensidad es similar a la de la tensión, aunque desplazada en el tiempo. Esto es debido a que los bobinados no absorben la corriente de forma lineal. Las bobinas almacenan corriente en forma de campo magnético, y esto provoca que tarden un tiempo en cargarse y descargarse. Por lo tanto, absorben corriente eléctrica en función de la diferencia entre la tensión aplicada y la carga de la bobina.

Ocurre el mismo efecto cuando la carga es un condensador, aunque el desfase es inverso. Es decir, que en un caso la corriente se atrasa respecto a la tensión, y en el otro se adelanta.

Cuando la carga se comporta como una bobina decimos que es una carga inductiva. Si lo hace como un condensador, se llama carga capacitiva. Si la corriente está adelantada o atrasada respecto a la tensión, decimos que están desfasadas. El ángulo de desfase se expresa con la función coseno, y se representa como  $\cos\varphi$ .

Como se puede observar en la figura 23 anteriormente expuesta la curva P correspondiente a la potencia en la figura B tiene un valor menor que en la figura A.

- Figura A: curvas sincronizadas en el paso por cero.
- Figura B: ondas no sincronizadas, cuando una de ellas paso por cero las otras tienen valores positivos o negativos.

Figura A	Figura B
$P = V * I * \cos\varphi ; \cos\varphi = 1$	$P = V * I * \cos\varphi ; \cos\varphi < 1$

Tabla 1: Tabla de diferencia de potencias

De la tabla 1 anterior se deduce que el resultado es que la onda P tiene un valor menor que en la figura A.

En definitiva, cuando la tensión y la intensidad están desfasadas entre sí, la potencia no se aprovecha correctamente. Si además sumamos más cargas del mismo tipo, es decir

inductivas o capacitivas, los desfases se van sumando, por lo que el ángulo de desfase aumenta, disminuyendo el rendimiento de la línea.

Una vez desarrollado este aspecto se plantea una cuestión: ¿Cómo afecta todo esto en un driver LED utilizado en el proyecto?

En una fuente de alimentación se combinan varios problemas que afectan a su rendimiento. Por un lado, tenemos un condensador que adelanta la intensidad respecto a la tensión. Esto significa que el  $\cos\varphi \neq 1$ .

Por otro lado, tenemos el puente de diodos, que convierte la corriente alterna en corriente pulsante. El principal problema es el siguiente:

- El condensador no se carga y descarga completamente, sino que suelta una pequeña parte de su carga cuando la tensión es menor, y se recarga cuando la tensión es mayor. Esto quiere decir que solamente absorbe corriente cuando se recarga.

Se utilizará la figura 24 para mejor comprensión de este concepto.

En la figura B se puede ver la tensión en el condensador (línea negra) y la corriente de carga (línea azul). El resultado es que la intensidad absorbida por el circuito tiene una forma de onda no senoidal, y además desfasada.

Esta forma de onda distorsionada se compone de varias frecuencias superpuestas, que se conocen como armónicos.

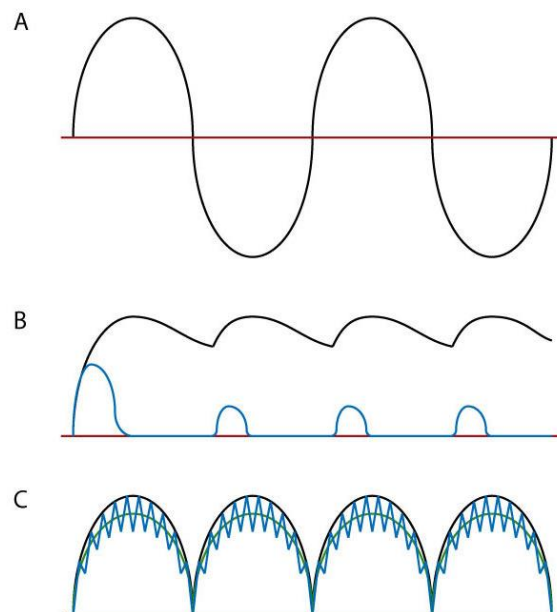


Figura 24: Formas de onda en condensador y bobina [6]

Los armónicos son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental, dicho en otras palabras, si la frecuencia de la red es 50Hz los armónicos se comportan como “ecos” a 100Hz, 150Hz ... Cuanto mayor sea la distorsión, mayor valor tendrán estos armónicos.

Los armónicos son un efecto indeseado, porque son corrientes parásitas que no podemos aprovechar, pero circulan igualmente por los conductores, provocando recalentamientos e interferencias.

Como se ha desarrollado anteriormente el desfase entre tensión e intensidad disminuye la potencia real, y el conjunto de diodos + condensador distorsiona la corriente.



Denominamos factor de potencia a la relación entre la potencia activa (potencia real aprovechada por los equipos conectados), y la potencia aparente (potencia consumida de la red eléctrica) explicado en la figura 25.

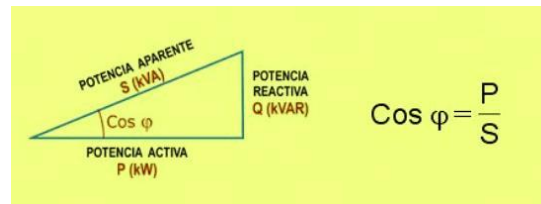


Figura 25: Factor de potencia

De lo anterior se deduce que si las dos potencias (activa y aparente) no son iguales, se aprovecha solo una parte de la potencia consumida. Con lo cual el objetivo es conseguir que sus valores sean idénticos, cabe destacar que no hay que confundir el  $\cos \varphi$  entendido como desfase, con el factor de potencia, aunque están ligados porque cuanto mayor sea el desfase entre tensión e intensidad, más potencia estaremos desperdiciando. Sin embargo, la distorsión de la señal no tiene nada que ver con el desfase, y también influye en el factor de potencia.

#### 1.7.6 CIRCUITO PFC

Una vez planteados los conceptos anteriores que nos dan las nociones necesarias de la baja eficiencia, se puede concluir dicho planteamiento con el circuito PFC, presente en el driver HLG-320H-C2800A de este proyecto, y que corrige este factor de potencia hasta alcanzar una eficiencia cercana al 95%.

Para corregir este factor tenemos dos vías claramente diferenciadas:

- PFC pasivo.  
Si se recuerda que una bobina retrasa la intensidad, conectando un condensador la adelantamos. Solamente debemos calcular el valor del condensador para que las dos ondas queden sincronizadas. La idea fundamental es utilizar bobinas o condensadores, según corresponda, para adelantar o retrasar la corriente.



- PFC activo.

En el caso de las fuentes conmutadas, objeto de este análisis, no resulta tan sencillo, porque el problema no es solamente el desfase, también hay que corregir la distorsión. Para ello necesitamos un corrector del factor de potencia activo.

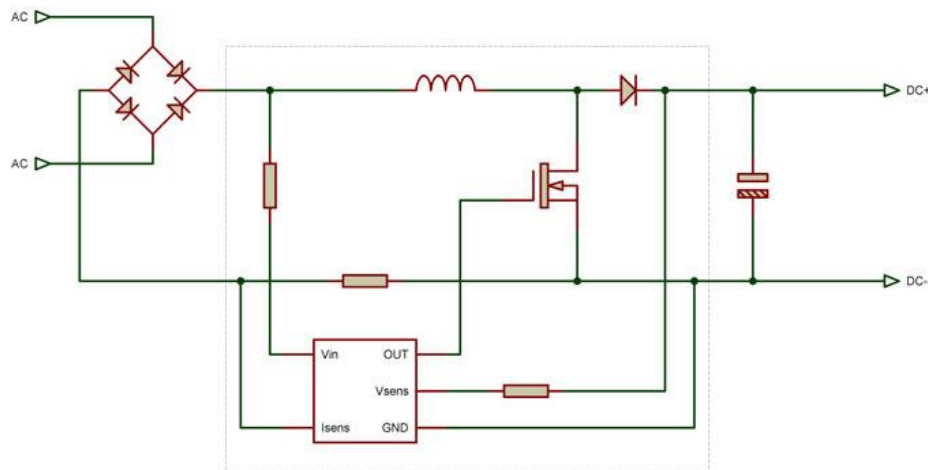


Figura 26: Esquema del corrector de factor de potencia activo [6]

Observando el esquema de la figura 26 se observa:

- Puente rectificador
- Condensador electrolítico
- MOSFET

El circuito integrado controla a un transistor MOSFET como si fuese un interruptor, conectándolo y desconectándolo miles de veces por segundo. Cuando el transistor está conectado, la bobina se carga de corriente, y cuando se desconecta, la bobina comienza a descargarse.

Variando el tiempo que el transistor está conectado y desconectado, se puede regular la cantidad de carga en la bobina.

El circuito integrado mide varios parámetros, normalmente la tensión de salida del rectificador, la tensión en el condensador, y la corriente total consumida.

El resultado es que, a partir de los datos medidos y del control del transistor, se consigue componer en la bobina una forma de onda senoidal.

Basándonos en la figura 27 C la tensión aplicada a la bobina está dibujada en color negro.

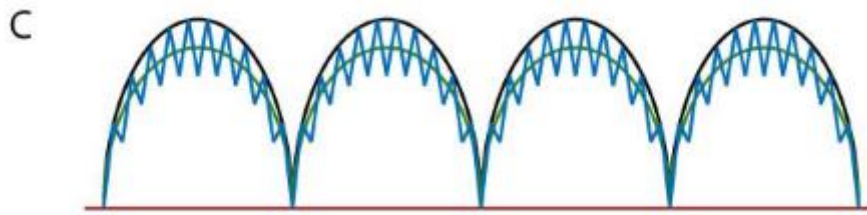


Figura 27: Forma de onda en la bobina [6]

La corriente en la bobina tiene una forma triangular (representada en color azul), generada por la carga de la bobina mediante el transistor. La corriente tiene un valor eficaz que, al tratarse de una onda triangular, se corresponde con la media de dicha onda (color verde).

Mediante este circuito se ha conseguido una onda senoidal, con una distorsión mínima y sin desfase, es decir con un factor de potencia muy cercano a 1.

#### 1.7.7 INVERTER

En esta etapa, la corriente continua se convierte en una especie de corriente alterna, necesaria para que funcione el transformador, el inverter es un convertidor de corriente continua a corriente alterna. Justo lo contrario que el diodo. Para dicha transformación de continua a alterna se necesita algo más complejo que una transformación de alterna a continua.

Se necesita generar impulsos de corriente con un oscilador. Para ello podría bastar con un transistor y un condensador, no siendo así.

En una fuente de alimentación se necesita controlar la corriente, cualquier factor externo podría hacer que la tensión o la intensidad variasen de forma no deseada. Esto podría provocar averías, incluso daños graves. Para conseguir controlar la corriente se utilizan circuitos integrados que hacen todo el trabajo difícil.

El objetivo es que la tensión de salida de la fuente sea muy estable, y no se descontrole, aunque haya cambios de carga muy bruscos.

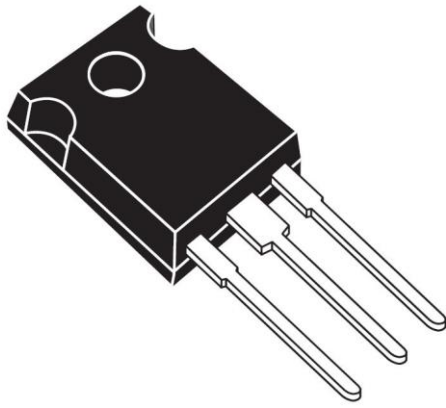


Figura 28: Transistor MOSFET

El método para generar esa corriente alterna parte del transistor, haciendo cortar y dejando pasar corriente muchas veces por segundo.

Dicho en otras palabras y para mejor comprensión: un interruptor que conecta y desconecta constantemente en tiempos del orden de nanosegundos. El resultado de esta acción es una onda rectangular.

Para variar las características de la corriente, podemos controlar el transistor de varias formas, pero la más común y habitual es variar la frecuencia del oscilador. Si el transistor conmuta a mayor velocidad, la frecuencia de la corriente resultante es más alta. Este sistema se utiliza en los variadores de velocidad de motores de corriente alterna, la velocidad del motor es proporcional a la frecuencia de la corriente aplicada. De este concepto parte la idea de equipos eficientes que van regulando su velocidad evitando el arranque (no solo tienen dos velocidades fijas: arranque y trabajo) y siendo más eficientes.

En las fuentes conmutadas no es viable el sistema anterior, porque el transformador debe trabajar a una frecuencia fija. Para regular la tensión y la corriente de salida se utiliza un generador PWM (*Pulse Width Modulation*) que traducido significa Modulación por Ancho de Pulsos.

La idea de funcionamiento es la siguiente: si el interruptor está conectado mucho tiempo entonces dejara pasar más corriente y viceversa. Para comprenderlo mejor se puede observar en la figura 29 donde la línea roja representa el valor eficaz de corriente una vez rectificada y filtrada.

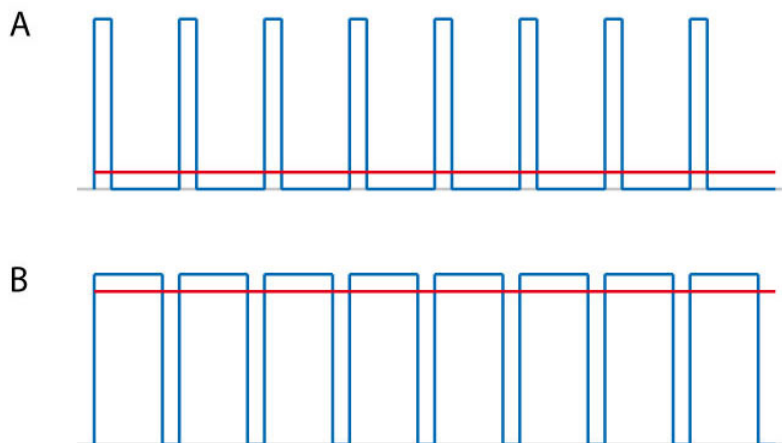


Figura 29: Ondas moduladas por PWM [6]

Las fuentes de alimentación conmutadas incorporan generalmente un circuito integrado que realiza la regulación PWM, además de muchas otras funciones, como la protección contra cortocircuito, contra sobretensiones, corrección de errores, arranque suave, etc. Al centrarse en su función principal como controlador del transistor se entiende que el regulador genera una señal PWM en función de la tensión de salida de la fuente.

Cuando la tensión de salida supera el valor deseado, estrecha los pulsos de corriente, y así el transformador recibe menos energía. Al caer la tensión de salida realiza la función contraria. De este modo, la tensión de salida se mantiene constante, aunque varíe la carga aplicada. Para ciertas aplicaciones, donde la carga varía muy rápidamente, el circuito debe tener una respuesta inmediata para prevenir altibajos en la salida.

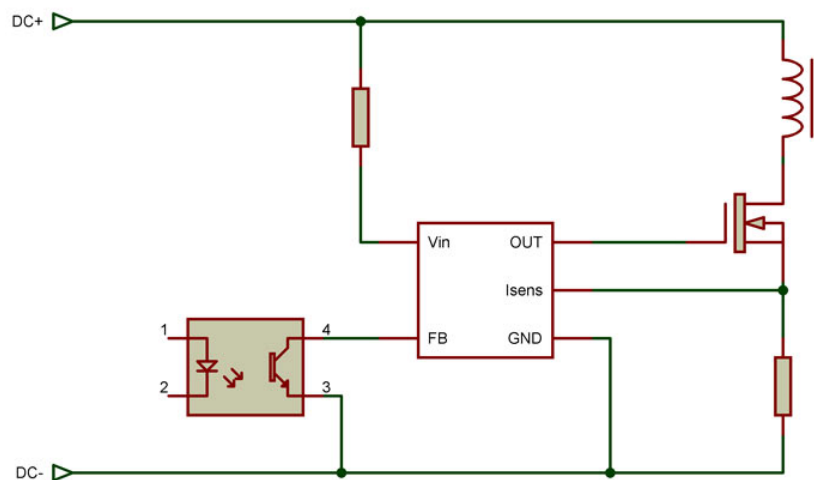


Figura 30: Esquema de la sección de conmutación [6]

El circuito integrado puede alimentarse directamente a través de una resistencia (de un valor bastante alto), ya que internamente incorpora un circuito estabilizador de tensión. En otros casos se alimenta desde un bobinado auxiliar del transformador, o a través de una pequeña fuente de alimentación lineal.

El optoacoplador entrega una señal proporcional a la tensión de salida, este componente se desarrollará posteriormente. Pero para entender mejor este proceso como se observa en la figura 30 donde se tiene que cuando el transistor no está conduciendo, la tensión que le llega a través del bobinado del transformador es igual a la de entrada, porque las bobinas en corriente continua se comportan como un conductor. Esta tensión tiene la forma de la figura A.

Si se aplica a la base o puerta (dependiendo del tipo utilizado) del transistor una señal PWM, éste conducirá de forma sincronizada con esta señal. Cuando el transistor está conduciendo, la tensión en sus patillas es cero, porque quedan conectadas al negativo.

En este momento, la bobina del transformador recibe toda la tensión de entrada, al quedar conectada entre DC+ y DC-. Por lo tanto, absorbe toda la corriente que necesita.

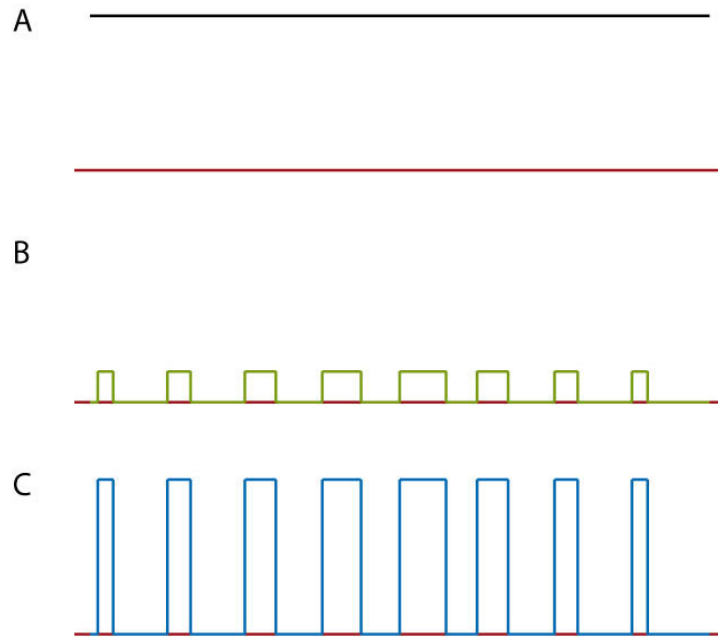


Figura 31: Señales en el transistor de conmutación [6]

Cuando el transistor deja de conducir, la bobina se descarga. De este modo, la bobina se carga y descarga cíclicamente, por lo que la forma de la corriente sería una especie de onda triangular.

En definitiva, se consigue entregar corriente alterna al transformador, con la que ya puede funcionar.

#### 1.7.8 TRANSFORMADOR

Un transformador, básicamente es un conjunto de dos bobinas que comparten el mismo núcleo. Una de las bobinas convierte la corriente en energía electromagnética, y la otra hace justo lo contrario. La bobina que recibe la corriente se conoce como bobinado primario, y la que genera corriente se llama bobinado secundario.

La bobina recibe una corriente eléctrica y como ocurre con cualquier conductor, una parte de esa corriente se convierte en un campo electromagnético. Este campo magnetiza el núcleo del transformador, cuantas más vueltas tiene la bobina, mayor cantidad de la corriente recibida se convierte, cuando esta cesa el campo magnético se disipa.

El metal con el que se fabrica el núcleo no permanece imantado, por lo tanto, solo mantiene el campo magnético durante un instante. El campo magnético generado provoca que los electrones del bobinado secundario se desplacen, generando una pequeña corriente. Al invertirse el semiciclo de la corriente, se vuelve a repetir el proceso, aunque esta vez el campo magnético tiene la polaridad invertida, y también la corriente del secundario.

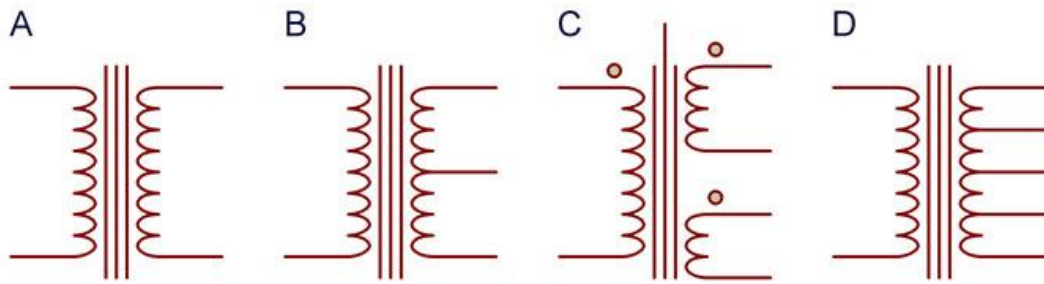


Figura 32: Símbolos de transformadores [6]

Se puede arrollar varias bobinas en el mismo núcleo, con lo que se tendrá varios secundarios. Éstos pueden estar eléctricamente unidos, como en la figura B y D, o separados como en la figura C.

No hay conexión eléctrica entre los bobinados primario y secundario, por lo que los transformadores también sirven para aislar el circuito de entrada del circuito de salida. La tensión de entrada es proporcional a la de salida. Esto quiere decir que si aumenta en el primario, también lo hará en el secundario, y viceversa.

Sin embargo, cambiando la relación de espiras cambia la relación de tensiones. Si, por ejemplo, el bobinado primario tiene el mismo número de espiras que el secundario, la tensión de salida será igual a la de entrada. La relación de transformación será 1:1. Este tipo de transformador solo resultaría interesante como aislamiento de seguridad.

Si el bobinado primario tiene 100 espiras y el secundario tiene 10, la tensión de salida será 10 veces menor que la de entrada. La relación será 1:10. Si el primario tuviera 5 y el secundario 500, la tensión de salida sería 100 veces la de entrada (1:100).

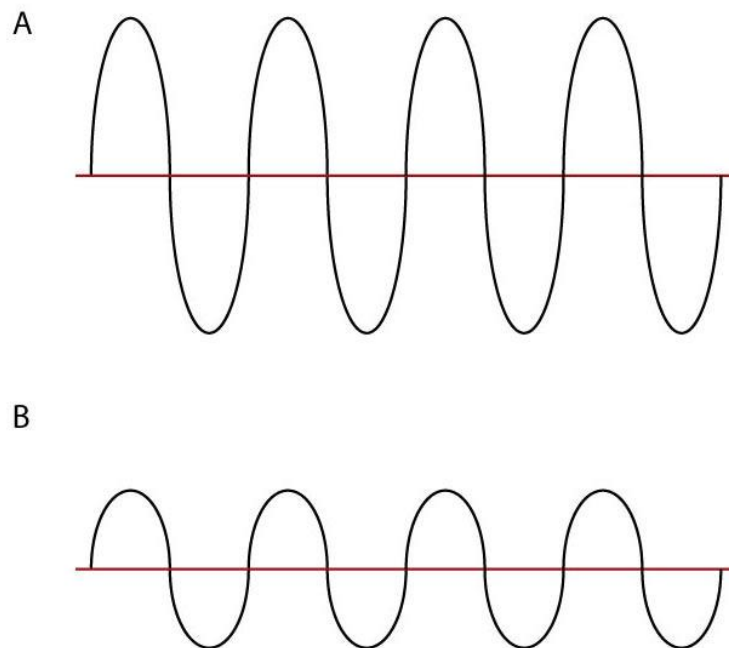


Figura 33: Tensiones en los bobinados primarios y según su relación [6]

Si al conectar el transformador intercambiamos el primario por el secundario, la relación de transformación se invierte, de modo que un transformador que reducía la tensión pasará a aumentarla, y viceversa.

Hay una gran variedad de tipos de transformadores sin embargo el estudio se centra en los utilizados en una fuente de alimentación:

- Transformadores lineales: Trabajan a baja frecuencia (50-60Hz). Son pesados y tienen un bajo rendimiento, es decir, que al transformar corriente – campo magnético – corriente, una parte importante de la energía se pierde. Habitualmente se utilizan dos tipos:
  1. Transformadores de chapa en E: El núcleo está compuesto de muchas láminas metálicas superpuestas.
  2. Transformadores toroidales: El núcleo es un anillo al que se arrollan las bobinas.

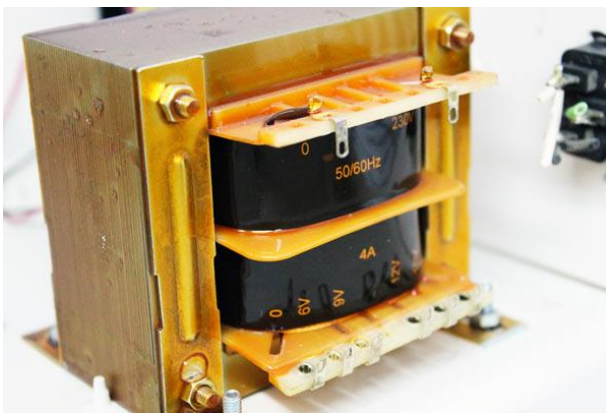


Figura 34: Transformador de chapas en E y toroidal

- Transformadores de pulsos: Su forma es similar a la de los transformadores de chapas en E, pero los núcleos están fabricados de materiales como la ferrita. Trabajan a altas frecuencias, lo que permite reducir las pérdidas, y además obtener una mayor corriente de salida, con un tamaño mucho menor que el de los transformadores lineales.

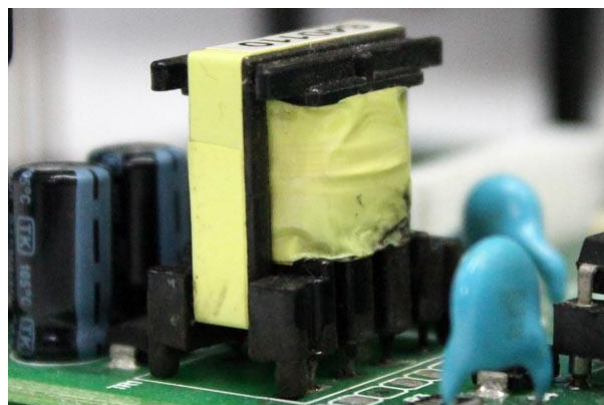


Figura 35: Transformador de pulsos

En las fuentes de alimentación conmutadas se utilizan los transformadores de pulsos.

La principal particularidad de este tipo de transformadores es que el núcleo está “afinado” a una frecuencia. Por lo tanto, no se puede intercambiar transformadores que trabajen en distintos rangos de frecuencias.



Un transformador consume una potencia igual a la del circuito conectado a su salida, más las pérdidas del propio transformador. En un transformador ideal, que no tuviese pérdidas, la potencia de entrada sería igual a la de salida. La potencia nominal de un transformador se mide en VA (voltiamperio), al ser una medida de potencia aparente.

La corriente de salida está limitada por la sección del hilo del bobinado secundario. Si la carga conectada es muy grande, la corriente que circulará por el bobinado será mayor de la que pueda soportar el hilo, por lo que se quemará. La sección del hilo del bobinado primario será inversamente proporcional a la tensión. Es decir, si el primario es de 100V y el secundario de 10V (relación 1:10), la corriente del primario será 10 veces menor que la del secundario.

Sabiendo que  $P = V * I$ , si el transformador del ejemplo anterior tuviese 10VA nominales, la intensidad máxima del secundario sería de 1A, mientras que la del primario sería 0,1A.

Una vez desarrollado lo anterior y recapitulando se tiene que en la etapa anterior se había generado una corriente alterna de más de 300V<sub>pp</sub>, que se aplica al primario. Normalmente las salidas del transformador serán menores de 50V eficaces. Muchas fuentes conmutadas tienen un bobinado auxiliar, para alimentar los componentes de las secciones activas, es decir, el corrector del factor de potencia y la etapa de conmutación (inverter).

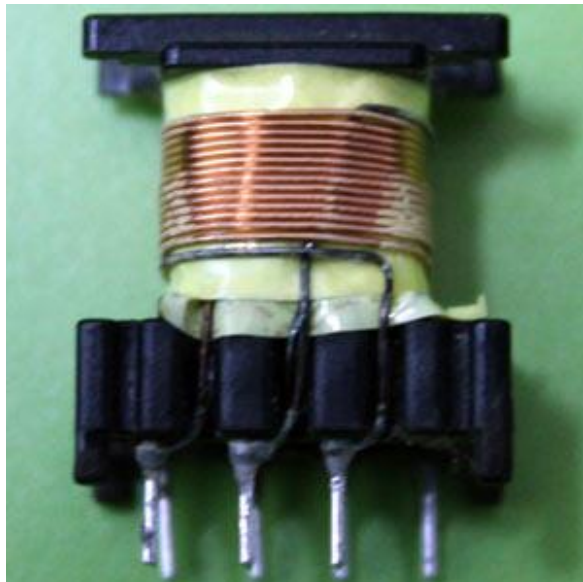


Figura 36: Bobinado de un transformador de pulsos

En las fuentes de alimentación lineales (no conmutadas), los transformadores se seleccionan en función de sus tensiones, potencias, y conexión de los bobinados. Estos parámetros están bastante estandarizados, por lo que no hay demasiada variedad, y no es difícil encontrar el modelo deseado.

Los transformadores de pulsos son más complicados, porque al tener que seleccionar parámetros como la frecuencia de trabajo y la opción de bobinados auxiliares, las posibilidades se multiplican.



### 1.7.9 RECTIFICADOR Y FILTRO DE SALIDA

Con las etapas anteriores de la fuente de alimentación se había conseguido una corriente alterna reducida respecto a la entrada.

Al igual que ocurría en el rectificador del primario, donde convertíamos  $230V_{ac}$  en unos  $320V_{ac}$ , se utilizará un diodo para convertir la corriente alterna en corriente pulsante como se puede ver en la figura 37.

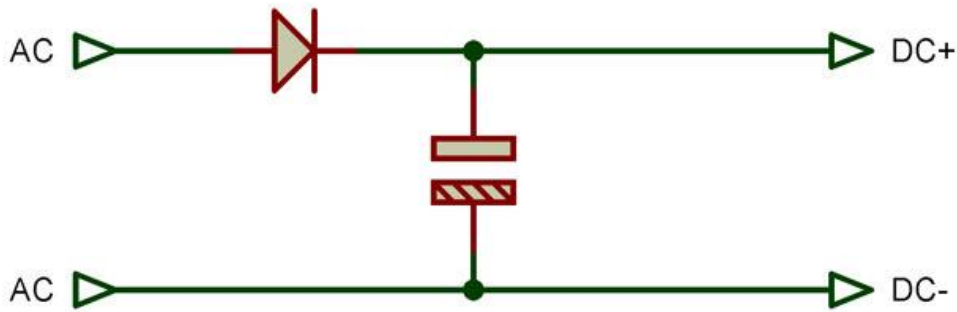


Figura 37: Rectificador y filtro de salida [6]

En esta ocasión no importa si se usa un rectificador de media onda o un rectificador de onda completa. El motivo es que esta corriente es de alta frecuencia. Esto quiere decir que los pulsos estarán mucho más juntos, y será muy fácil filtrarlos para conseguir una corriente continua.

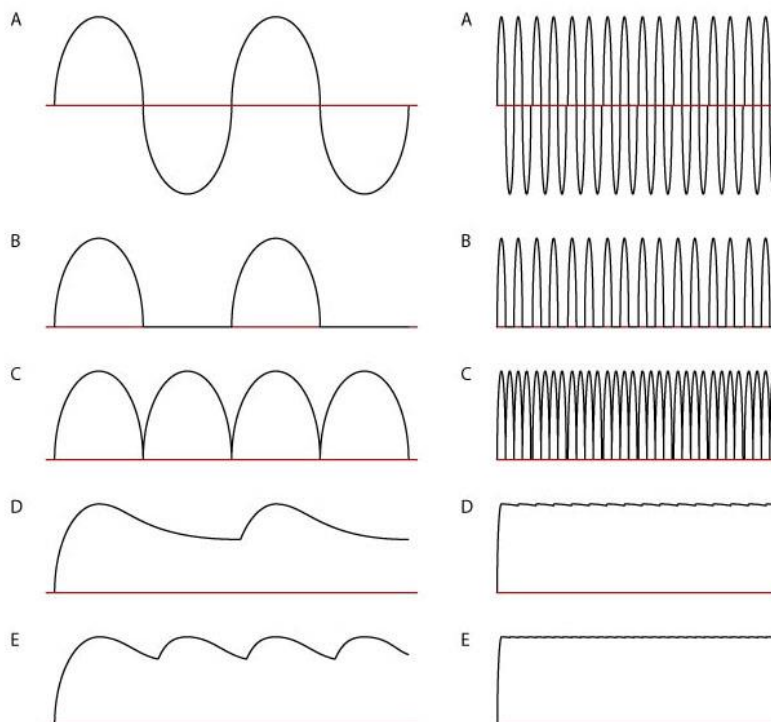


Figura 38: Formas de onda: Baja frecuencia a la izquierda y alta frecuencia a la derecha; (A) corriente alterna; (B) media onda rectificada; (C) onda completa rectificada; (D) media onda filtrada; (E) onda completa filtrada [6]

En la figura 38 se puede ver la comparación entre dos frecuencias distintas. Se aprecia que cuando la frecuencia es más alta, los pulsos están más juntos, por lo que el condensador prácticamente no trabaja. Si se tiene en cuenta que la frecuencia puede ser miles de veces superior a la del primario, es fácil deducir que el condensador en el secundario puede ser mucho más pequeño.

Debido precisamente a la alta frecuencia de la corriente, no se puede utilizar diodos rectificadores normales. De hacerlo, éstos tardarían demasiado tiempo en empezar y dejar de conducir.

Para esta función se utilizan los diodos ultrarrápidos, o diodos Schottky. Su símbolo es distinto al de los diodos rectificadores normales se puede ver en la figura 39.

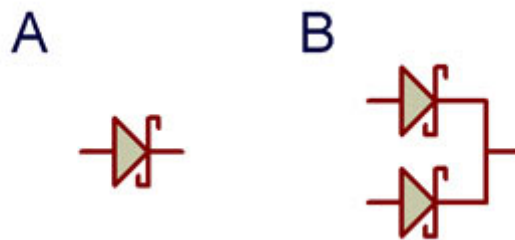


Figura 39: A) diodo Schottky; (B) diodo Schottky doble con cátodo común [6]

En cuanto al filtro de salida, tal como ocurre con el rectificador del primario, a la salida también es necesario montar un componente que suavice el rizado. Como ya se ha dicho, con un condensador de poca capacidad es suficiente.

Precisamente por la facilidad de filtrar el rizado, también se utilizan bobinas en serie. Las bobinas presentan una serie de ventajas, entre las que destacan las siguientes:

- Se puede filtrar una gran corriente aumentando la sección del hilo que forma la bobina, figura 40.
- No hay desgaste, como ocurre en los condensadores electrolíticos.
- No se ven afectadas por las altas temperaturas.

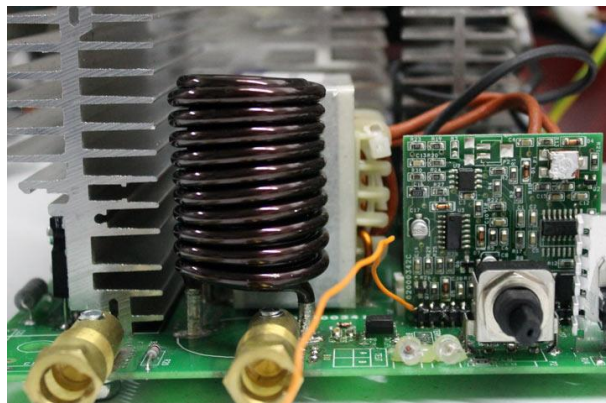


Figura 40: Bobina en la salida de una soladora inverter

Si una bobina sirve como filtro igual que un condensador, se puede combinar ambos para mejorar el filtrado. En la figura 41 se puede ver tres tipos de filtro: de tipo C (condensador), de tipo L (bobina), y de tipo LC (bobina y condensador). Las combinaciones se pueden complicar más aumentando el número de componentes.

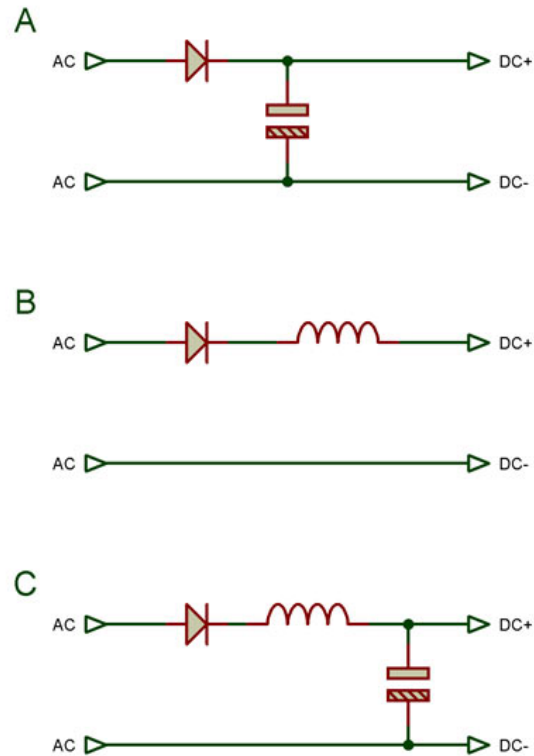


Figura 41: Tipos de filtro de salida: (A) filtro C; (B) filtro L; (C) filtro LC [6]

Para conseguir una alimentación negativa, simplemente se conectan dos diodos y dos condensadores tal como muestra en la figura 42.

En este caso, los condensadores se pueden sustituir por bobinas o combinar ambos componentes, igual que en el ejemplo anterior. Únicamente hay que tener en cuenta la polaridad de los condensadores.

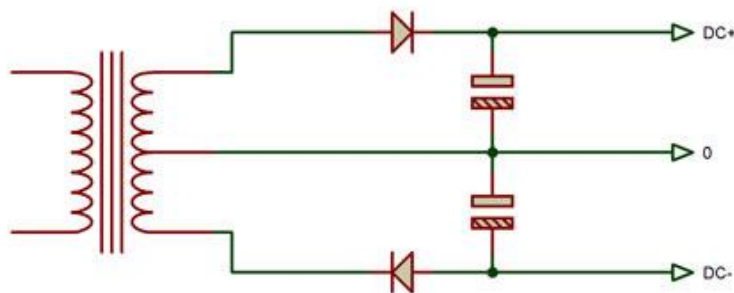


Figura 42: Rectificador y filtro dual [6]

#### 1.7.10 REGULADOR DE TENSION

La última etapa de una fuente de alimentación conmutada es la que controla la regulación de tensión, también llamada retroalimentación (feedback), o amplificador de error.

¿Por qué hay que regular la tensión en una fuente conmutada? En las fuentes SMPS la tensión de salida depende de varios factores. Cuando se conecta una carga que consume mucha corriente, la tensión de la fuente cae. Igualmente, cuando la carga disminuye, la tensión aumenta de nuevo.

Si la carga no es estable, como ocurre en la mayoría de aplicaciones, hay que mantener la tensión constante, para evitar problemas de funcionamiento y averías. El regulador PWM del primario varía la anchura de los pulsos para cambiar la tensión de salida del transformador.

Esto quiere decir que en una fuente conmutada la tensión es variable. En la mayoría de aplicaciones, la tensión de la fuente debe ser fija, y además muy estable, para que la tensión sea lo más exacta posible y no varíe en ningún momento.

En una fuente de alimentación lineal, la tensión de salida se regula mediante circuitos integrados estabilizadores de tensión, o diodos zener en aplicaciones más básicas. En muchos circuitos no se requiere demasiada precisión, por lo que ni siquiera se usan componentes específicos. La tensión de salida es la que entrega el transformador, una vez rectificada por los diodos y filtrada por el condensador.

En una fuente de alimentación conmutada no sirve este planteamiento, y se hace de una forma totalmente distinta.

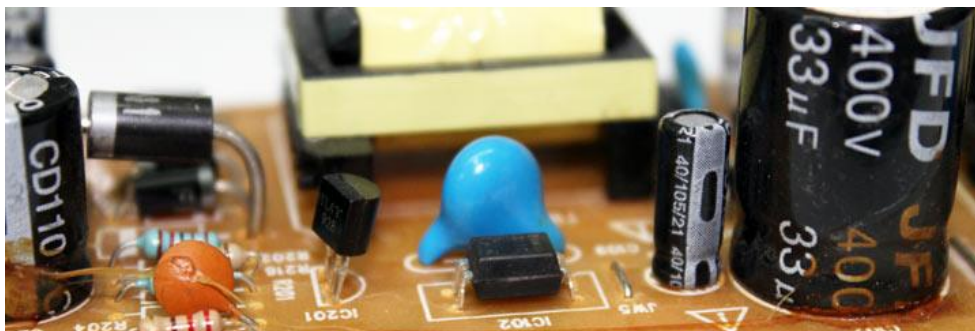


Figura 43: Regulador de tensión

La solución es muy básica. Se mide la tensión en la salida de la fuente y se varía la señal PWM para aumentarla o disminuirla según se requiera.

Este proceso en la práctica no es tan sencillo, el principal problema es que el regulador PWM está en el primario, con tensiones de más de 300V, y se quiere medir la tensión en el secundario, que suele ser de pocos voltios.

El transformador sirve como aislamiento de seguridad, por lo que no interesa conectar partes del primario con componentes del secundario, para mantener este aislamiento. En este caso entra en juego el optoacoplador.

Un optoacoplador es un circuito integrado que contiene un diodo led y un fototransistor, cuando aplicamos tensión al led, éste se ilumina, activando el fototransistor que entra en conducción.

Ambos componentes “se ven pero no se tocan”, es decir, el led transmite luz al fototransistor, pero no hay contacto físico entre ellos. Al estar los componentes aislados eléctricamente, los circuitos conectados en cada lado permanecen separados.

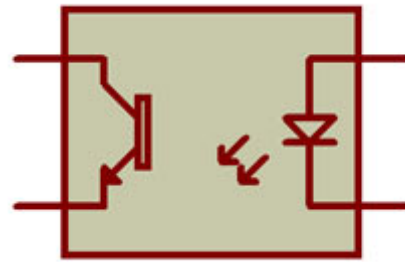


Figura 44: Símbolo del optoacoplador [6]

#### 1.7.11 CIRCUITO INTEGRADO TL431

Aunque hay varias formas de regular la tensión en una fuente conmutada, la más habitual gira en torno a un componente: el TL431.

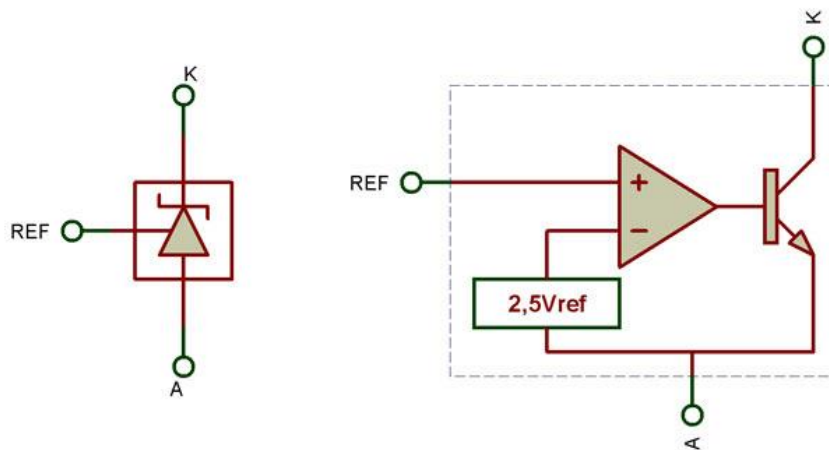


Figura 45: Circuito integrado TL431 [6]

Se trata de un circuito integrado que incorpora varios elementos. Debido a su bajo coste y a su precisión, es el componente más habitual para esta aplicación. Internamente, el TL431 tiene tres elementos, representados a la derecha de la figura 45:

- Un circuito de referencia de 2,5V. Siempre que, entre los terminales K y A, haya una tensión superior, esta parte del circuito generará 2,5V con una gran precisión y estabilidad ante los cambios de temperatura.
- Un amplificador operacional, que cuando la tensión en el terminal REF es superior a 2,5V activa su salida.
- Un transistor, que entra en conducción cuando el operacional entrega tensión a su base.

En definitiva, el integrado conecta los terminales K y A cuando en el terminal REF hay más de 2,5V. Este modo de funcionamiento ha hecho que el TL431 sea conocido como “zener regulable”.

Aunque en la práctica cada circuito tiene unos componentes distintos, es habitual seguir el esquema de la figura 46:

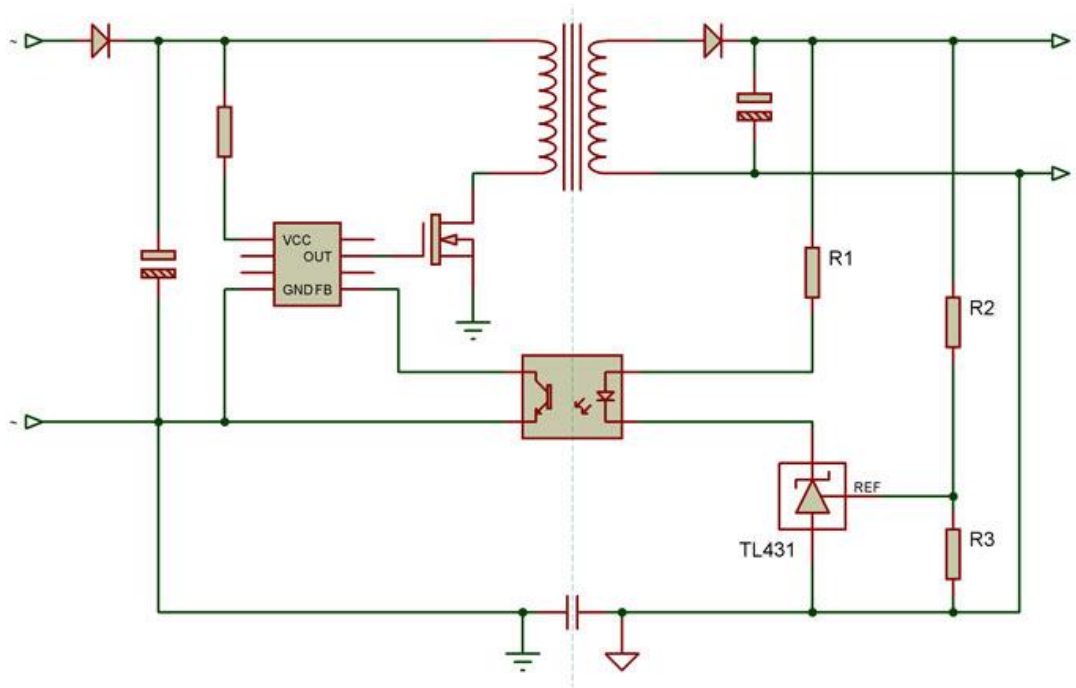


Figura 46: Conexión de los componentes de regulación de tensión [6]

R2 y R3 actúan como un divisor de tensión. Si, por ejemplo, la tensión de salida de la fuente debe ser de 5V, R2 y R3 tendrán valores idénticos, para que en el pin REF la tensión sea igual a 2,5V.

Cuando la tensión entre + y – sea mayor de 5V, la tensión en REF también será mayor que 2,5V, por lo que el TL431 dejará pasar corriente a través de R1 y el led del optoacoplador. El led se iluminará activando el fototransistor, que conectará a masa el terminal FB (feedback) del regulador PWM, que a su vez reducirá el ancho de los pulsos para disminuir la tensión de salida.



Cuando la tensión entre + y – caiga por debajo de  $5V$ , y por lo tanto sea menor de  $2,5V$  en REF, el TL431 dejará de conducir, el led se apagará, y el fototransistor desconectará la entrada FB de la masa. En este caso, el regulador PWM aumentará el ancho de los pulsos hasta recibir una nueva señal del optoacoplador. En definitiva, el regulador sabrá cuándo aumentar o disminuir la tensión, en función del estado del TL431.



## 2. DISEÑO DEL ESQUEMA ELÉCTRICO

En este apartado del proyecto se analizará con mayor detalle la conexión eléctrica presente en la instalación. Tal y como se desarrolló en teoría el funcionamiento de los LEDs es en corriente continua sin embargo la conexión del foco se hará directamente a la red eléctrica convencional (corriente alterna), de ahí surge la figura del driver o conversor de alterna a continua que es una de las bases de este apartado eléctrico.

A modo resumen como se ve en la figura 47 las conexiones se pueden esquematizar de esa manera: partiendo de la fuente de corriente alterna (conexión a la red eléctrica), pasando por el driver y dirigiéndose a los LEDs que se conectan a dicha fuente.

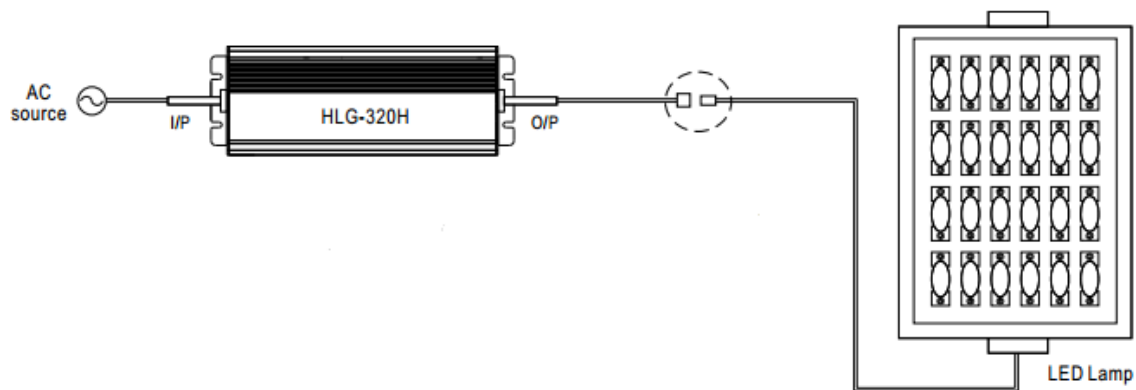


Figura 47: Esquema eléctrico de la conexión [5]

La conexión entre los LEDs se realiza en serie y no en paralelo, la razón es muy sencilla: los LEDs deben trabajar en corriente constante, cualquier mínima variación que se produzca repercute en el funcionamiento del mismo, no solo eficiencia y rendimiento sino también en su vida útil. Por ello una conexión en paralelo es más propicia a ocasionar este tipo de variaciones dado fundamentalmente por los errores propios de montaje.

Tomando la conexión en serie como la adecuada ya que de esta manera se garantiza que por todos los LEDs circulara la misma corriente, se homogeniza la instalación eléctrica y no hay variaciones lumínicas entre uno u otro LED conectado a la misma fuente o driver.

La instalación entre los LEDs se realiza mediante soldaduras como se puede observar en la figura 48.

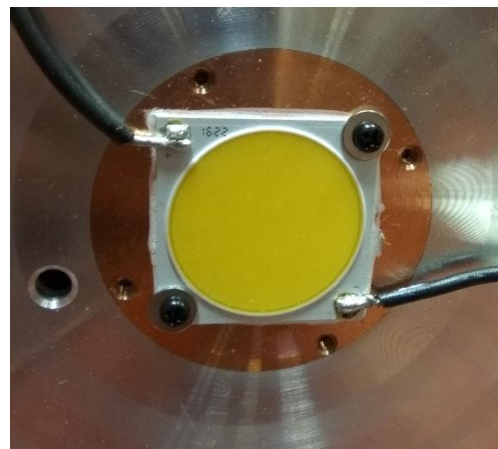


Figura 48: Soldaduras del LED en detalle



En cuanto a la salida del driver hacia la red eléctrica se realiza mediante cables sencillos que facilitan no solo la instalación, sino que además lo hace convencional y de fácil uso como se puede ver en la figura 49 con el cable que se utiliza.



Figura 49: Cable de red eléctrica conectado a la entrada del driver

## 2.1 PROTOTIPO PREVIO Y ENSAYOS

Antes de proceder a la elección de LED COB más adecuado se realizó un ensayo con los mismos para verificar que cumplían los requisitos demandados no solo en la teoría sino en la práctica simulando un ensayo.

En esta prueba centrada en los componentes eléctricos se realizó una grabación en la que se medía el flickering que producen los LEDs. El *flicker* se entiende como el parpadeo presente en la luz, en la corriente alterna las bombillas convencionales de tungsteno tienen la denominada inercia térmica que hace que el filamento se vaya atenuando con el paso de corriente es cero. Esta atenuación es lo suficientemente lenta como para que nunca llegue a apagarse, sin embargo, tal y como se ha desarrollado en apartados anteriores los LEDs se alimentan de corriente continua con lo cual no existiría este problema ya que para ello se utilizan drivers LEDs que proporcionan una corriente constante, pero no es así, el flicker en la iluminación de LED se da por el rizado de la señal de salida.

Cuando se analiza la salida de continua de cualquier fuente con un osciloscopio, se puede determinar un concepto muy importante y que habla mucho sobre la calidad del driver, es la tensión pico-pico ( $V_{pp}$ ). Aplicado a la corriente continua, se define como un valor en voltios que indica la diferencia ente el valor máximo y mínimo de tensión de salida de una fuente. Las fuentes de DC nunca son perfectamente lineales, siempre hay una pequeña perturbación. [16]

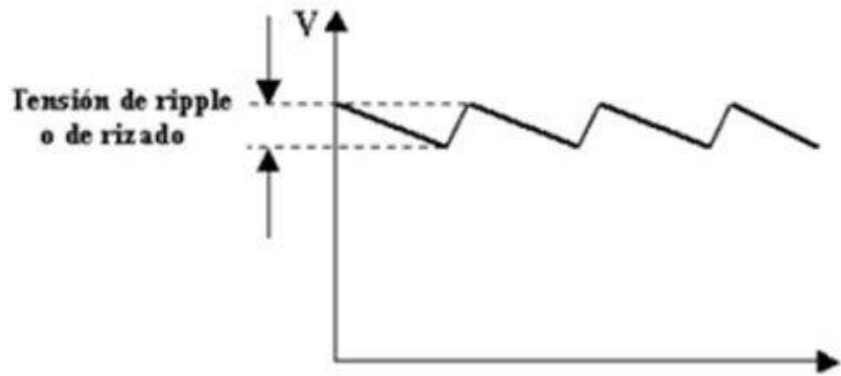


Figura 50: Tensión de rizado en la salida de un driver [16]

Una vez explicado este fenómeno se entiende con mayor claridad la razón de buscar un driver LED adecuado a la instalación y que ayude a evitar este parpadeo. A continuación, se desarrolla la razón de una elección de alta calidad en lo que a LEDs se refiere, sabiendo que su principal función será la de satisfacer las necesidades de una cámara en cuanto a la nitidez de la imagen.

El sensor de una cámara está formado por millones de celdas fotosensibles, cada una de ellas de tamaño microscópico, cada píxel del sensor analiza la luz que le llega: una pequeñísima parte de la imagen de la escena que queremos fotografiar o grabar. Cada celda incluye un fotodiodo que convierte la luz en electricidad. Además, incluye la electrónica necesaria para que cada elemento funcione de forma independiente y para poder leer la información de cada píxel cada vez que se hace una foto. En la mayoría de los sensores actuales, cada celda incluye además una pequeña lente individual para concentrar la luz en la superficie sensible.

Cada fotodiodo (elemento fotosensible de la celda) funciona como un panel solar: recibe fotones que, al interactuar con los átomos del material, generan electrones. Es decir, convierten luz en electricidad.

La celda del sensor funciona de la siguiente forma: cuando pulsamos el disparador de la cámara para hacer una foto abrimos el obturador y dejamos pasar fotones que llegan al

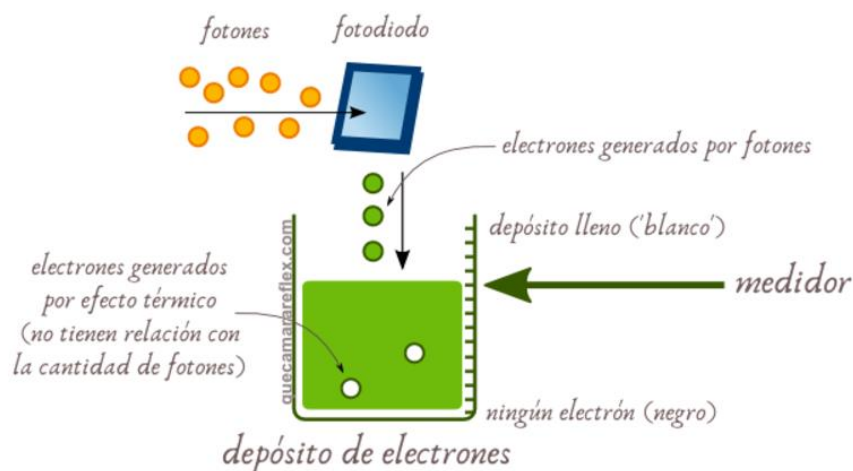


Figura 51: Proceso de captación de luz en una foto

fotodiodo. El fotodiodo los va convirtiendo en electrones, que se acumulan en un pequeño depósito (condensador). Cuando se cierra el obturador de la cámara (deja de pasar luz) cada celda del sensor tendrá un determinado nivel de electrones, en función de la cantidad de fotones que ha recibido ese trocito de la imagen.

Si una celda no tiene electrones querrá decir que no ha recibido ningún fotón (zona oscura de la imagen) esto es precisamente lo que se quiere evitar en el proyecto, que no se perciba con claridad la grabación a causa de ausencia de luz.

Dejando de lado la teoría y centrándose en la práctica se desarrolla primero el prototipo para enseñarlo que se puede observar en la figura 52.



*Figura 52: Prototipo para los ensayos*

Los LEDs COB están montados sobre un disipador modular, que se desarrollara su funcionamiento posteriormente, es evidente que el tamaño del chip LED comparado con el disipador es bastante más pequeño, esto muestra la gestión térmica necesaria que lleva detrás esta tecnología para un funcionamiento óptimo.

En ese montaje de prueba el objetivo no era optimizar la gestión térmica sino verificar el flickering presente en ese modelo de LED, aunque sirve para dar una idea de la estructura necesaria para su montaje y como poder reducirla y optimizarla.

Para comprobar las prestaciones eléctricas del chip LED se utilizó una cámara de alta velocidad en la que se realizó un ensayo sencillo en la que no se percibió ningún parpadeo grabando a  $20000\text{fps}$  (fotogramas por segundo) una cifra muy superior a cualquier cámara profesional en las que se pueden grabar a  $1000\text{fps}$  en la figura 53 se muestra el desarrollo del ensayo:

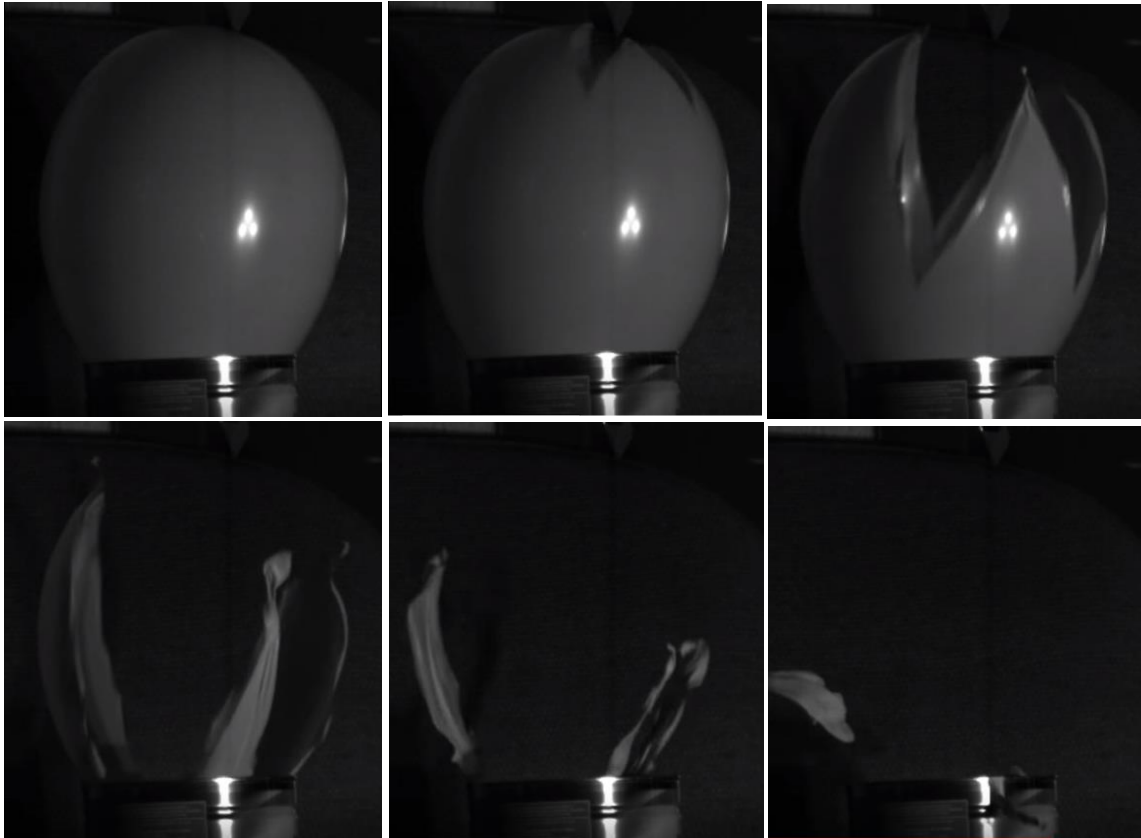


Figura 53: Explosión de un globo a 20000fps con una iluminación de 30000 lúmenes [19]

En la secuencia se puede observar como no hay presente ningún parpadeo o corte de imagen, sin embargo, es oscura por la necesidad de una capacidad lumínica mayor, como se explicó anteriormente.

El ensayo tan solo constaba de 3 chips LEDs, es decir, apenas 1/4 del total del proyecto, esto da una magnitud del total de la prestación lumínica que darían ambos focos al final de su montaje.

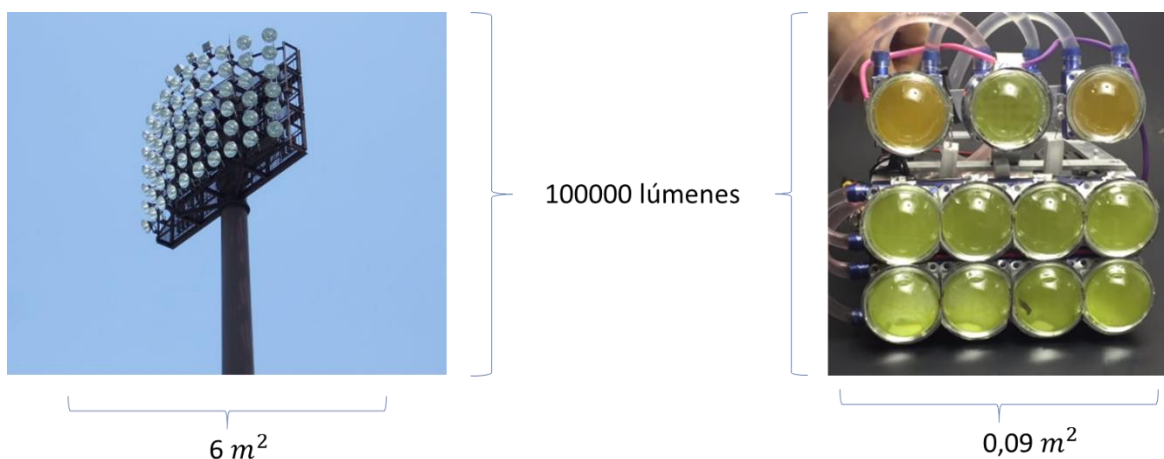


Figura 54: Comparativa de prestaciones lumínicas

En la figura 54 se puede observar una pequeña comparativa entre las prestaciones de un foco con chip LEDs y una torre de iluminación de un campo de futbol, ambas presentan el mismo flujo lumínico de salida, sin embargo, el foco LED consume menos, es más barato, y su superficie en comparación es muy pequeña. La razón de que no se utilice esta tecnología es que está en pleno desarrollo en el apartado de protección y son aun vulnerables a los elementos atmosféricos como lluvia, viento, suciedad, polvo y el posible flickering que provoquen en una instalación no adecuada hacen que los focos de arco voltaico que no producen parpadeo sigan siendo la elección.

Para concluir a modo resumen se deja un esquema del desarrollo del ensayo hasta la consecución del mismo y la influencia que tuvo, así como imágenes correspondientes al prototipo ensayado:

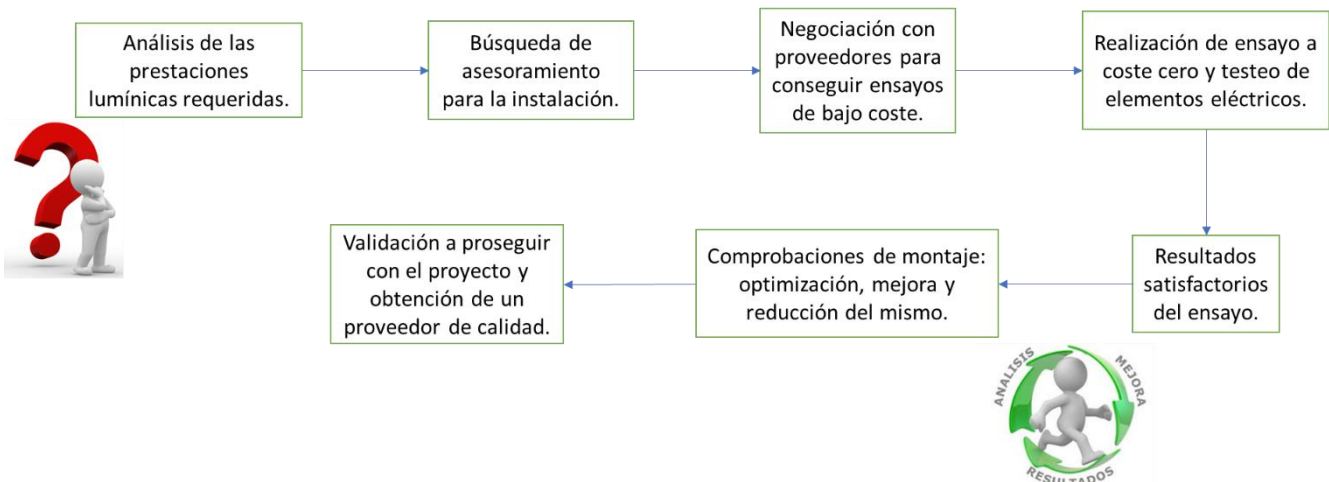


Figura 55: Desarrollo del ensayo

## 2.2 LED COB EDISON

Partiendo del LED como elemento principal del proyecto que es, estudiando sus características se tiene la conexión eléctrica que presenta un chip LED, en este caso concreto el modelo seleccionado es el (ED-768) 2PHMA2CW27P29013-503, un modelo de COB de gama alta y precio muy económico.

La elección de este modelo viene dada por una característica principal: la cantidad de lúmenes que es capaz de emitir.

Para justificar esta elección hay que mencionar que el foco actual tal y como se introdujo anteriormente en el proyecto es un foco con un alto consumo y gran flujo de calor ya que se trata de un foco incandescente. Este tipo de focos considerados ya casi obsoletos se caracterizan por una luz constante de alta intensidad. En lo que al foco actual se refiere se trata de un modelo de lámpara de arco voltaico del fabricante Arrisun modelo HMI 1800.



Figura 56: Foco de arco voltaico Arrisun HMI 1800

El foco de arco voltaico está basado en un principio de funcionamiento básico de principios del siglo XX:

Al tomarse una fuente de energía eléctrica, formándose un circuito interrumpido en una porción de su recorrido y, en ambos extremos del conductor seccionado, se colocan dos electrodos de carbón. Si se alimenta el circuito con la fuente y acercando lo suficiente los dos electrodos, aparecerá, en medio de un luminoso resplandor, un arco voltaico.

Aquí, no se trata de luz emitida por un material que entra en incandescencia al hacer pasar por su interior una corriente eléctrica, como sucede con los filamentos de tungsteno de las clásicas bombillas de Edison y otros. No, en las lámparas de arco, es el “salto” de la corriente eléctrica entre los dos electrodos el que genera un resplandor susceptible de ser empleado en iluminación.

Estos electrodos usados en dichos focos en la actualidad son de mayor resistencia como el tungsteno (ya que se consumen) introducidos en el interior de una cámara llena de algún gas noble, como neón o xenon, u otros elementos, como sodio. Lejos de las aplicaciones domésticas, las verdaderas lámparas de arco actuales, de muy alta intensidad y diseñadas concienzudamente utilizando materiales de alta resistencia,



encuentran aplicaciones en la industria cinematográfica o en el tratamiento especial de metales y aleaciones. [7]

El foco actual en cuestión es de 1800W sin embargo, no se puede realizar una instalación de LEDs de 1800W como remplazo por una sencilla razón: la equivalencia entre un foco incandescente y un LED no es la misma. Por lo tanto, la comparativa de instalaciones se debe de realizar mediante una característica denominada intensidad luminosa y que se mide en *lúmenes*.

Los lúmenes se pueden definir de una manera más sencilla como la cantidad de luz visible en una dirección o ángulo proyectada sobre una superficie. Es fácil confundir los conceptos de flujo luminoso e intensidad luminosa pero no son los mismos, el flujo se mide en *candelas* y es emitido en un ángulo sólido su relación se puede observar en la siguiente expresión:

$$I_{v(candela)} * \theta_{(ángulo)} = \phi_{(lumen)} = Flujo\ luminoso \times m^2$$

Una vez visto que la característica de flujo luminoso es la realmente válida para comparar ambas instalaciones se parte de la premisa de que cada foco actual emite 50000 *lm* con lo cual sabiendo que el modelo de chip LED de Edison seleccionado emite en torno a 12000*lm* – 14000*lm*, como se puede ver en el datasheet del modelo, habría que montar en torno a 4 chips LEDs para que hiciesen la función de 1 de los antiguos focos. Debido a que se ha valorado el hecho de aumentar estas prestaciones lumínicas se decidió montar en total 12 chips LEDs divididos en 2 focos de 6 LEDs cada uno para cubrir el funcionamiento de los 2 focos utilizados habitualmente.

### Luminous Flux Characteristic

Order Code	CCT (K)	Luminous Flux(lm) T <sub>c</sub> =85°C		Luminous Flux(lm) T <sub>c</sub> =25°C		Efficacy (lm/W)	CRI Ra	CRI R9	Forward Voltage V <sub>f</sub> (V)			Forward Current (mA)
		Min.	Typ.	Min.	Typ.				Min.	Typ.	Max.	
2PHMA2NW27P29013	4000K	12350	14700	14200	16855	140			33.9	37.5	38.7	3200
2PHMA2CW27P29013	5000K	12350	14700	14200	16855	140	80	0	33.9	37.5	38.7	3200
2PHMA5NW27P29013	4000K	16500	19600	18900	22500	145			52.3	55.3	58.3	2800
2PHMA5CW27P29013	5000K	16500	19600	18900	22500	145			52.3	55.3	58.3	2800

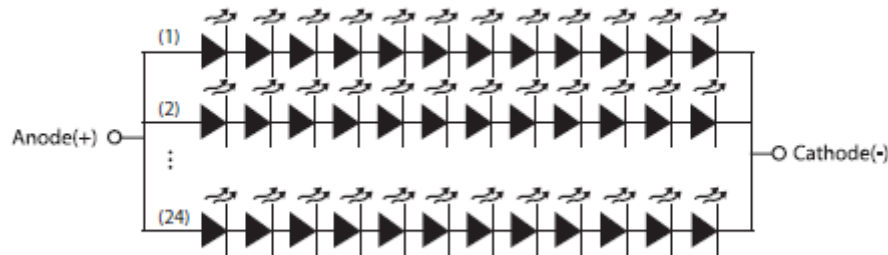
Figura 57: Características eléctricas del modelo seleccionado [8]

Este modelo de LED como se ve en el apartado térmico del proyecto es de gama alta debido a su mejor gestión de la temperatura y todo lo que ello supone, esto aunado a la capacidad de lúmenes que presenta (muy alto respecto a sus similares) lo hacen una elección muy adecuada. Cabe mencionar que, aunque hay presentes LEDs de mayor capacidad lumínica como se puede observar en la figura 57 su temperatura de color es menor (4000K) lo que hace un blanco no recomendado para grabaciones, así como la opción de 5000K trabaja a 2.8A su principal problema está en el voltaje, mucho más

alto que la opción elegida esto provoca un aumento del flickering o parpadeo de la luz y hace más inestable el driver.

La conexión eléctrica que presenta dicho modelo entre los distintos LEDs que se encuentran en su sustrato se puede ver en la figura 58 es el equivalente a 12 LEDs conectados en serie en un total de 24 ramales lo que hace un total de 288 LEDs emitiendo luz.

### Emitter Circuit Layout



2PHMA2CW27P29013 Emitter Circuit Layout

Figura 58: Disposición del circuito del chip LED [8]

Analizando las características vistas en la figura 57 se pueden valorar otros aspectos eléctricos que dan pie a otro de los elementos básicos en esta instalación. La corriente máxima de este chip es de 3.2A la potencia consumida es en torno a 100W, teniendo claro estos requerimientos se puede pasar a buscar un driver LED que los satisfaga.

Estos requerimientos vienen dados según los puntos de mayor eficiencia del chip LED, aportar a este elemento una alimentación adecuada de corriente continua garantiza mayor vida útil al máximo rendimiento.

### Relative luminous Intensity vs. Forward Current

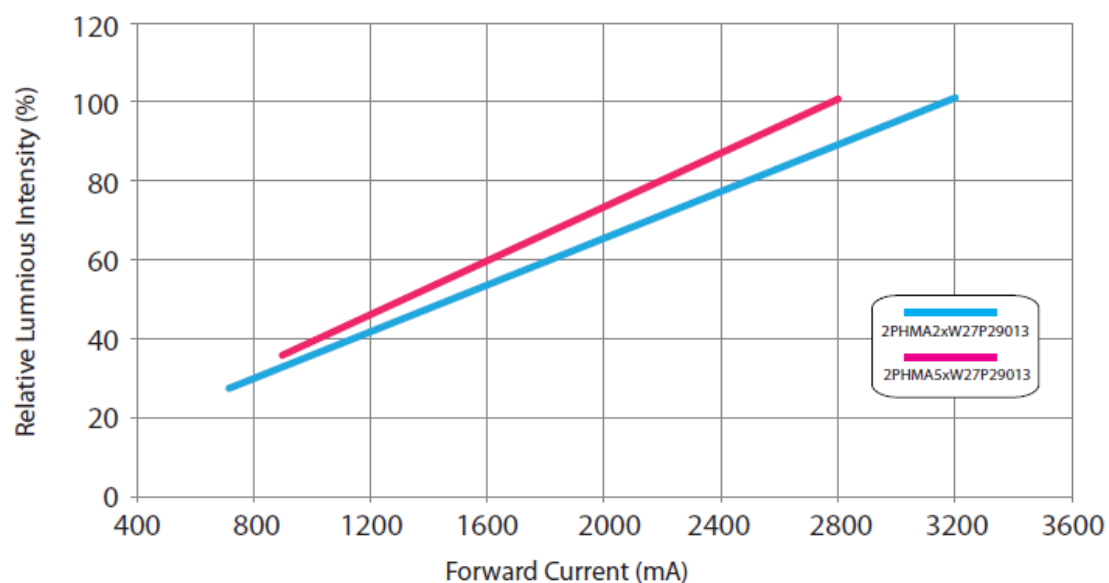


Figura 59: Intensidad luminosa en función del valor de corriente [8]



Como se puede observar en la figura 59, el modelo seleccionado (línea azul) presenta un aumento de la intensidad luminosa a medida que la corriente que llega es mayor, como es lógico. Sin embargo, no es recomendado llevar un LED COB al punto máximo de funcionamiento y se recomienda que su desempeño se encuentre en torno al 90%.

Por ello un LED driver que suministre en torno a 3A sería un valor ideal para esta instalación.

### 2.3 LED DRIVER

Teniendo en consideración los aspectos anteriores tan solo habría que buscar una fuente de corriente constante denominado driver LED que suministre 3A y con una potencia de 100W para cada chip LED, en este caso se decidió montar 3 LEDs COB por cada fuente, es decir, una fuente de 300W. Cabe aclarar que este tipo de fuentes tan solo mantiene constante la corriente y el voltaje varía en función de lo que demande la carga, típicamente un chip LED COB tiene un voltaje alto al principio y a medida que aumenta su temperatura va reduciendo este voltaje de caída.

Después de valorar las prestaciones de distintas marcas y el asesoramiento de proveedores hubo una decisión común en seleccionar un driver LED de la marca Mean Well. Este fabricante con una amplia gama en driver LEDs es la referencia en este elemento, su precio es muy similar a sus competidores, sin embargo, su calidad está por encima y un abanico más grande de modelos con distintas prestaciones lo hacen el más adecuado.

No hay que olvidar que este elemento significa el motor del LED y de ahí su gran importancia, aunque el LED sea de una calidad alta si es alimentado con un driver que tiene pequeñas fluctuaciones de corriente eso se traduce en disminución de rendimiento, eficiencia, luminosidad y vida útil, es decir, su importancia es tan grande como la del chip LED.



Figura 60: Driver LED de Mean Well [5]



Figura 61: Modelo probado en el ensayo y seleccionado en el proyecto

El modelo seleccionado de Mean Well fue el HLG-320H-C2800A el valor de corriente que saca este driver es de 2.8A sin embargo su potencia es de 319.2W de esta manera cada LED estará alimentado de manera holgada a los 100W recomendados por el fabricante y el driver tendría un desempeño en torno al 90% el cual es el recomendado.

En este elemento la gestión térmica también es importante, sin embargo, no es necesario ningún disipador, en el datasheet de este modelo recomiendan que el elemento se encuentre en convección libre con el aire. Esta es una de las razones a considerar a la hora de diseñar el soporte definitivo ya que su protección es IP65/IP67 protección más que suficiente para el entorno de trabajo.

#### SPECIFICATION

MODEL		HLG-320H-C700	HLG-320H-C1050	HLG-320H-C1400	HLG-320H-C1750	HLG-320H-C2100	HLG-320H-C2800	HLG-320H-C3500
OUTPUT	RATED CURRENT	700mA	1050mA	1400mA	1750mA	2100mA	2800mA	3500mA
	RATED POWER	299.6W	320.25W	320.6W	320.25W	319.2W	319.2W	318.5W
	CONSTANT CURRENT REGION <small>Note.2</small>	214 ~ 428V	152 ~ 305V	114 ~ 229V	91 ~ 183V	76 ~ 152V	57 ~ 114V	46 ~ 91V
	OPEN CIRCUIT VOLTAGE (max.)	435V	311V	234V	187V	156V	118V	95V
	CURRENT ADJ. RANGE	Adjustable for A-Type only (via built-in potentiometer)						
		350 ~ 700mA	525 ~ 1050mA	700 ~ 1400mA	875 ~ 1750mA	1050 ~ 2100mA	1400 ~ 2800mA	1750 ~ 3500mA
	CURRENT RIPPLE	5.0% max. @rated current						
	CURRENT TOLERANCE	±5%						
SET UP TIME <small>Note.4</small>	1000ms/115VAC, or 500ms/230VAC							

Figura 62: Especificaciones de output del modelo [5]

Teniendo en cuenta en el peor de los casos que la temperatura ambiente estará en torno a los 25°C – 30°C y la carga del driver LED en torno al 90% se puede observar en la siguiente imagen que dicho funcionamiento se encuentra del lado de la seguridad considerando las recomendaciones del fabricante de que el driver LED funcione entre –45°C ~ 80°C.

#### ■ OUTPUT LOAD vs TEMPERATURE

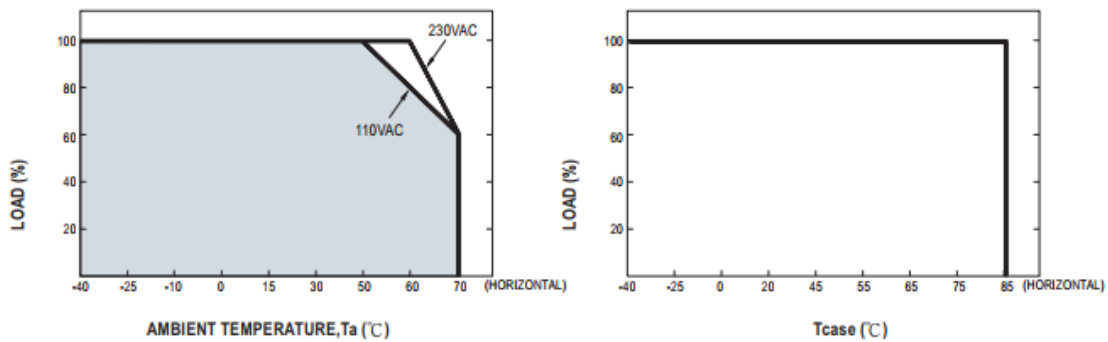


Figura 63: Recomendaciones en función de la temperatura ambiente y la carga [5]

De esta manera se garantiza que dicho elemento funcione en las condiciones adecuadas para un buen aprovechamiento de la instalación.

Tal como se detalla en la introducción de este apartado el input del driver va directamente a la red eléctrica y su output a los chips LED consiguiendo de esta manera una instalación sencilla y de rápido montaje.

## 2.4 VENTILADOR AXIAL

El último elemento eléctrico de la instalación viene dado por la necesidad de refrigeración de los chips LEDs, estos ventiladores acoplados directamente a los disipadores son muy comunes y de utilización cotidiana, de hecho, son similares a los que se utilizan en ordenadores o equipamiento eléctrico como refrigeración cómoda, efectiva y de alimentación sencilla y fácil.

La alimentación de este elemento es en corriente continua necesitando para ello de un elemento eléctrico que facilite su alimentación, es decir, un transformador que de la opción de conectarlo a la red eléctrica.

Esto se traduce en la incorporación de un elemento electrónico más que permita que los ventiladores trabajen de manera óptima.



Figura 64: Ventilador o “fan” del disipador [9]

Este tipo de ventiladores, del mismo modelo que los usados en aparatos electrónicos como ordenadores, presentan ciertas características que los hacen funcionalmente más adecuados para esta aplicación. Existen ventiladores de AC (corriente alterna) que van directamente a la red eléctrica sin necesidad de un transformador, pero están destinados a ventiladores de techo o de ciertos electrodomésticos en los que su implementación es sencilla al ir conectados directamente a un enchufe.

Las razones por las que los disipadores presentan ventiladores de este modelo son las siguientes:

- Usan menos energía, hasta un 70% menos que un ventilador AC standard.
- Son generalmente extremadamente silenciosos.
- El motor normalmente es más compacto y ligero, lo que permite diseños más livianos.
- Son más rápidos en ponerse en funcionamiento, cambiar de velocidad y pararse.

En un motor de corriente continua, a más voltios más *rpm* pero en un motor de corriente alterna más voltios no necesariamente se traduce en más velocidad, puesto que la velocidad de un motor de corriente alterna depende de su construcción (pares de polos) y la frecuencia de excitación estatórica, típicamente 50 Hz ó 60 Hz.

Debido a esas razones es el modelo elegido en el acoplamiento a los disipadores, ahora bien, se necesita de un transformador que suministre las especificaciones necesarias.

Para este transformador se emplea un modelo básico que se constituye por:

- Un núcleo magnético.
- Un arrollamiento primario o de entrada.
- Y un arrollamiento secundario o de salida.

El núcleo estará formado por un material ferromagnético que favorezca la propagación del flujo  $\Phi$ , tal es el caso del acero con aleación de silicio. Un transformador simple consiste esencialmente en dos bobinas de cable aislado. En la mayoría de transformadores, los cables están enrollados alrededor de una estructura que contiene hierro, llamado el núcleo. Una bobina, llamada la primaria, está conectada a la fuente de corriente alternativa que produce un campo magnético constantemente variable, alrededor de la bobina. Sucesivamente, el campo de variación magnética produce una corriente alternativa en la otra bobina. Esta bobina, llamada la secundaria, está conectada a un circuito eléctrico separado.

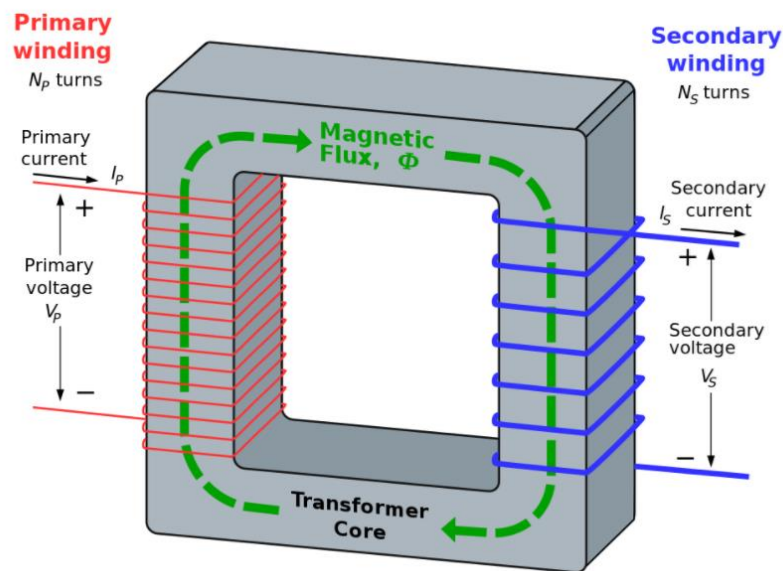


Figura 65: Esquema de un transformador [20]

Una vez explicado de manera resumida el funcionamiento de este transformador se procede a su elección.

Para la elección del transformador basándose en el datasheet del ventilador obtenemos que es de  $12V$  a  $0.24A$  lo cual se traduce en una potencia de  $2.9W$  tal y como se puede ver en la siguiente imagen.

#### Technical description

Airflow direction	Air outlet over struts
Rotational direction looking at rotor	clockwise
Nominal voltage	12,0 V
Current consumption	240 mA
Power consumption	2,9 W
Speed	6.800 1/min
Max. free-air flow	54,0 m3/h
Weight	0,066 kg
Protection class	III
Max. torque when mounted across both mounting flanges	wire outlet corner: 20 Ncm remaining corners: 40 Ncm
Screw size	ISO 4762 - M3 degreased, without an additional brace and without washer

Figura 66: Especificaciones técnicas del ventilador [9]

Con lo cual se necesita un transformador que suministre  $12V$  o más y una corriente similar sin llevar al ventilador al máximo de su desempeño. Siguiendo las líneas generales del proyecto de una instalación sencilla que no presente problemas complejos, reduciendo elementos en la conexión se utilizara un componente habitual en la vida cotidiana, un conversor similar al de un cargador de un teléfono móvil.



Figura 67: Inversor para la conexión de los ventiladores del disipador [10]

Este modelo correspondiente a un GS12E12-P1I suministra  $12V; 0 - 1A$  en CC para alimentar los ventiladores, suministrando el valor de corriente que demande la carga de esta manera no se sobrecarga el ventilador y el transformador trabaja de manera holgada.

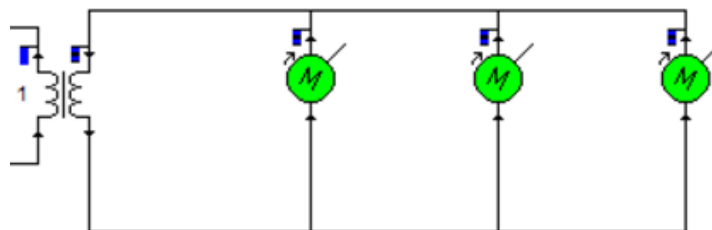


Figura 68: Esquema eléctrico de la conexión desde el transformador a los ventiladores

En resumen, ambas conexiones a la red eléctrica tanto del driver LED como de los ventiladores se realiza con componentes sencillos que cumplan las exigencias del proyecto, se consigue un montaje fácil que reduzca errores, utilización más sencilla y una manera de reducir costes.

### 3. GESTIÓN TÉRMICA

Este es uno de los apartados más importantes en el desarrollo del proyecto, cabe mencionar que el origen de este trabajo surge de un problema térmico en la iluminación anterior.

Para ello se debe considerar distintos factores que influyen en una correcta gestión térmica en la iluminación LED que desemboca en una mayor duración de vida útil de los LEDs así como una mayor eficiencia en los mismos.

Como se ha expuesto, el problema anterior era una mala disipación de calor de un foco, pero la solución no es inmediata ya que no se puede refrigerar un foco incandescente o fluorescente como es este caso. Por ello se optó por un foco LED, lo primero que hay que aclarar es que las luminarias LED generan calor, poco comparada con otros tipos de tecnologías, pero debido a los chips instalados si irradian calor. La diferencia fundamental respecto a tecnologías incandescentes o fluorescentes es que el calor se proyecta en dirección contraria a la luz.

Hay que tener claro este último apunte, al tener un flujo de calor contrario al sentido de emisión de la luz hay que refrigerar la zona opuesta al foco LED, es decir, la base de ese chip LED como se puede ver en la figura 69.

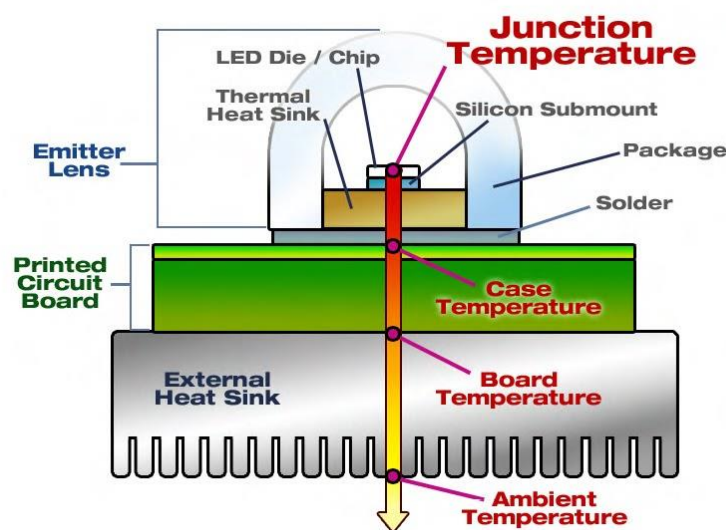


Figura 69: Flujo de calor en un LED COB [11]

Una vez se ha aclarado la manera de refrigerar dicho LED se procede a estudiar las distintas opciones de LEDs que se pueden montar y ver cuál en función de las necesidades del proyecto, presupuesto y calidad en disipación de calor es la mejor elección.



### 3.1 ELECCIÓN DEL CHIP LED

Las distintas opciones de chip LED que se puede montar en el proyecto se dividen en 3 grupos:

- LED MCOB
- LED SMD
- LED COB

Dado que se está valorando el apartado térmico se debe considera con mayor importancia este aspecto sin olvidarnos de las características económicas, de desarrollo, instalación, montaje etc.

#### 3.1.1 LED SMD

LED SMD, o “Surface Mounted Device” LED está permanentemente fusionado a una placa de circuito impreso, es una forma de fabricación de encapsulado de componentes electrónicos, es decir, su proceso de fabricación consiste en el montaje de un chip sobre una pequeña superficie tipo plantilla.

Una de las características más notable de los chips LED SMD es el número de contactos y diodos que tienen. Los chips LED SMD pueden tener más de dos contactos, puede haber hasta 3 diodos en un solo chip, teniendo cada diodo un circuito individual. Cada circuito tendría un cátodo y un ánodo, dando lugar a 2, 4 o 6 contactos en un chip.

La fabricación de un Chip SMD se desarrolla en tres fases:

1. Montaje del chip sobre la plantilla aplicando adhesivo.
2. Conexión del chip uniendo y soldando cables a la placa base.
3. Cubrir el chip con fósforo para conseguir el color.

La principal ventaja es que si se daña uno de los LEDs el resto siguen funcionando al tener contactos distintos y no estar conectados en serie. La principal desventaja es que dado su montaje tienen a alcanzar mayores temperaturas que el LED COB o MCOB.

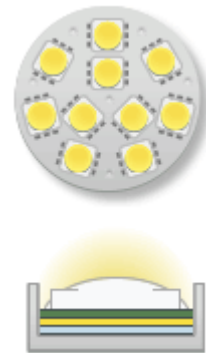


Figura 70: LED SMD [12]

#### 3.1.2 LED COB

LED COB “Chip On Board” están contruidos como una matriz de LEDs, es decir una concentración de LEDs en una pastilla recubierta de silicona. Gracias a tener insertados multitud de LEDs en un mismo encapsulado, los LED COB (chip en la placa) y los MCOB (Microled) tienen una gestión del calor mucho mejor que las luminarias LED SMD. Esta gestión del calor repercute directamente en su eficiencia y rendimiento, soporta largos periodos de actividad.

Sus costes de fabricación son menores que los LEDs SMD, alrededor de un 20% menos, su rendimiento es casi el doble de los SMD proporcionando alrededor de 120 *lúmen/watio*.

Este tipo de LEDs puede soportar altas temperaturas y gestionar mejor la variación de corriente, además todo el panel encapsulado emite la luz, lo cual evita los puntos muertos y típicamente se montan sobre una carcasa o base de aluminio que favorece la disipación de calor.



Figura 71: LED COB [12]

### 3.1.3 LED MCOB

LED MCOB “Multiple Chips On Board” es un tipo de led más avanzado que el COB, que integra multitud de pequeños chips dentro de un chip mayor que engloba a todos los anteriores. Dicho de otra manera, consiste en un conjunto de LEDs COB puestos de manera conjunta y sobre el aluminio directamente, lo cual proporciona una disipación de calor mucho mejor que un LED COB.

Hay que decir que se trata de una tecnología en desarrollo y que aún no hay estándares marcados para la misma, muchos fabricantes siguen en desarrollo de lo que podría ser un LED que mejorase en prestaciones a cualquier otro modelo. Su coste es bastante elevado y tan solo se está probando en aplicaciones muy específicas.



Figura 72: LED MCOB [12]

Una vez visto cada modelo en detalle se puede resumir las características en la siguiente tabla:

Modelo	Ventajas	Desventajas
<b>SMD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daño de un LED no provoca apagón</li> <li>• Ángulo de apertura 0° – 360°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 60 – 70 <i>lúmen/watio</i></li> <li>• No diseñados para uso continuo</li> <li>• Coste de fabricación 20% mayor</li> </ul>
<b>COB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 120 <i>lúmen/watio</i></li> <li>• Mayor durabilidad e intensidad lumínica</li> <li>• Dispersión del calor del 50%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ángulo de apertura 0° – 160°</li> </ul>
<b>MCOB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispersión del calor del 97%</li> <li>• Montaje directamente sobre aluminio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología aun en desarrollo</li> <li>• Coste muy elevado</li> </ul>

Tabla 2: Características de los distintos modelos de LEDs



Teniendo en cuenta que en este proyecto se busca concentrar la luz en un punto muy pequeño, lo económicamente óptimo sin renunciar a las mejores prestaciones, que la disipación de calor según las exigencias del proyecto es costosa como se verá a lo largo del desarrollo del trabajo, y que el modelo más nuevo aún no está plenamente desarrollado y su coste se dispara, el modelo más adecuado es el LED COB.

### 3.2 CALCULO DEL CIRCUITO TERMICO

Antes de proceder al cálculo térmico hay que ver las diferencias más en detalle entre los modelos SMD y COB que se pueden observar en la siguiente imagen:

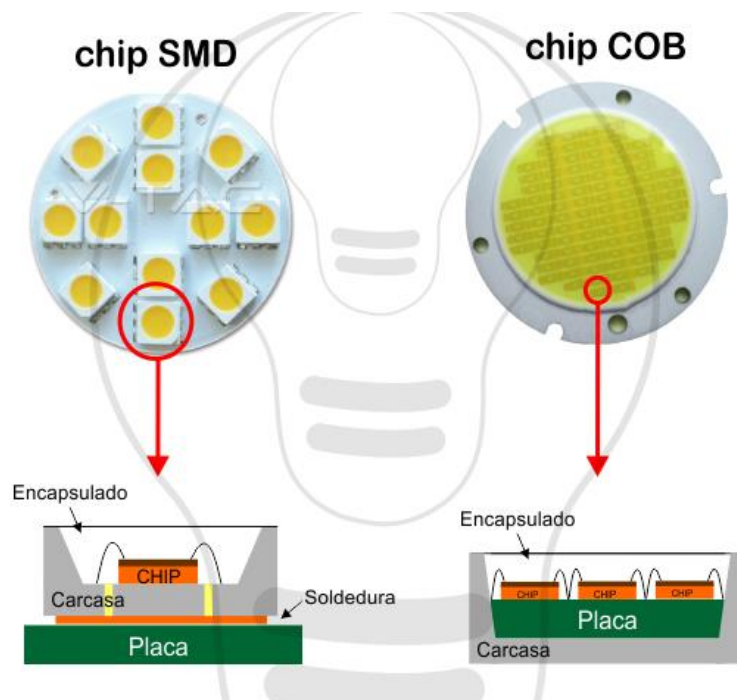


Figura 73: Diferencia de montaje entre un SMD y COB [12]

Esta diferencia de montaje entre un modelo y otro es fundamental a la hora de realizar el análisis térmico, como se puede observar en la imagen anterior el SMD presenta un solo chip en cada encapsulado mientras que el COB presenta varios chips en un mismo encapsulado como se explicó con anterioridad a la hora de gestionar la disipación de calor esto influye de manera decisiva.

El hecho de tener varias carcasas en lugar de una sola además del aumento de soldaduras y uniones dificulta la buena refrigeración del LED y de ahí la elección del LED COB como componente del proyecto como se desarrolla a continuación.

Antes de Exponer el circuito térmico es necesario aclarar algunos conceptos propios del flujo de calor en un LED ayudándonos de la figura 74.

El flujo eléctrico de corriente genera calor y este se acumula en un punto de vital importancia en un chip LED que es el que se desea refrigerar y mantener a una temperatura de operación lo más baja posible. Dicho punto se denomina punto de unión “junction point” o “unión T”.

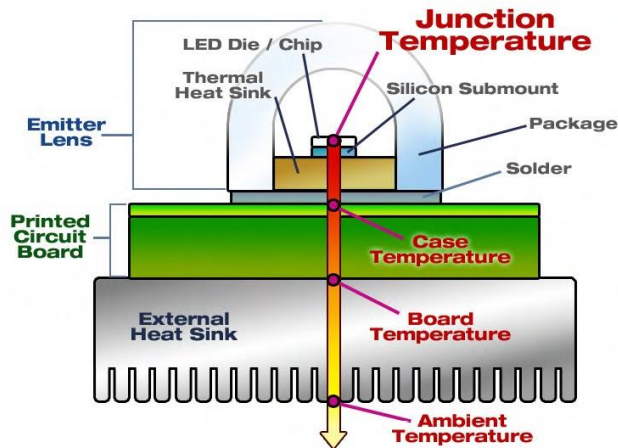


Figura 74: Puntos térmicos característicos de un LED [11]

Desde el punto de unión del chip el calor (temperatura de unión “junction temperature” o “ $T_j$ ”) se traslada a la placa base la cual debida a su composición permite disipar el calor hacia el disipador externo del LED.

Desde el disipador se extrae el calor al ambiente reduciéndose convenientemente teniendo en cuenta la temperatura de funcionamiento óptima del LED y las condiciones ambientales.

- Placa base: El nivel de acabado en las soldaduras, así como el material del que está compuesta es importante para un correcto tratamiento de la gestión térmica. Cabe destacar que en un LED COB al evitar mayores componentes eléctricos circuitos y soldaduras, esta placa base gestiona de manera más eficiente la disipación de calor que un LED SMD. Esta unión directa de los chips a la placa base reduce las resistencias térmicas como se desarrollará más adelante.
- Unión T: El punto de unión entre el chip y la placa base es donde encontraremos el valor máximo de temperatura, y por consiguiente, el valor crucial a disminuir que típicamente representa el fallo más común en un LED y el que marca su vida útil. Si se consigue que en esa unión haya una temperatura baja se alargara su vida de funcionamiento.  
Esta unión tiene que ser de calidad, por ello es importante un LED de gama alta en el que se utilice estaño preparado para esas temperaturas y que la fabricación del componente LED se haga con maquinaria automatizada que garantice que la unión sea buena.
- Disipador (“heat sink”): El disipador se encarga de transmitir ese flujo de calor al ambiente, su estructura típica aleteada y surcada ayuda a conferir mayor superficie disipadora y de esta manera refrigerar de manera muy eficiente.
- Adhesivo: A pesar de no ser un componente del LED influye de manera determinante en la correcta disipación de calor.

Una vez desarrollado los puntos característicos térmicos y las resistencias que nos encontraríamos en el circuito térmico tenemos las 2 opciones posibles según sea SMD o COB y que ayuda a decidir cuál es la solución más adecuada:

### SMD

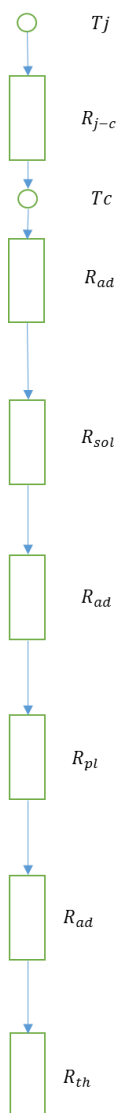


Figura 75: Circuito térmico en SMD

- $T_j$ : Temperatura en la unión "Junction Temperature".
- $R_{j-c}$ : Resistencia interna del LED según su montaje.
  - $T_c$ : Temperatura en la carcasa externa "Case Temperature".
  - $R_{ad}$ : Resistencia térmica adhesiva.
  - $R_{sol}$ : Resistencia térmica de la soldadura.
  - $R_{pl}$ : Resistencia térmica de la placa madre.
- $R_{th}$ : Resistencia térmica del disipador externo al LED.

### COB

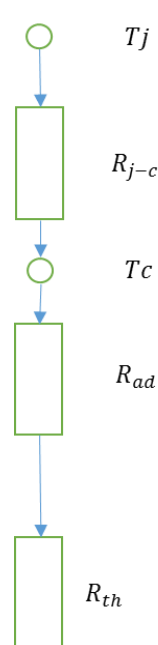


Figura 76: Circuito térmico en COB



Figura 77: Esquema térmico SMD



Figura 78: Esquema térmico COB

En el caso del LED COB hay que destacar que la resistencia " $R_{jc}$ " debido a su montaje mucho más eficiente que el LED SMD incluye la propia resistencia térmica de la placa madre, es por ello que " $R_{pl}$ " no aparece en su circuito térmico.

Una vez se ha visto el circuito térmico, es evidente que la opción del LED COB es la más adecuada para una buena gestión de la temperatura de la unión del LED que en gran medida marcará la vida útil de este componente.

Ya que se ha elegido el modelo tipo COB se encuentra un mercado inmenso en cuanto a prestaciones de estos componentes con lo cual al ceñirse a las exigencias del proyecto el equivalente eléctrico explicado más en detalle en otro apartado corresponde a unos 12 LEDs COB de 10000 *lúmenes* cada uno. Teniendo claro lo anterior y centrándonos en lo que a aspectos térmicos se refiere vamos a diferenciar entre 2 grandes grupos:

1. LED COB gama media
2. LED COB gama alta

Las principales diferencias de estos LEDs además de potencia lumínica, consumo, fabricantes etc. radican sobre todo en la gestión térmica.

Las 2 opciones de LED COB varían en un aspecto térmico fundamental y es el espesor de la “carcasa” de aluminio que lo recubre en su parte posterior, es decir, lo que estaría en contacto con el disipador externo. En las siguientes imágenes tenemos ambos modelos:



Figura 79: LED COB gama media y alta

Con la expresión de resistencia térmica de conducción tenemos lo siguiente:

$$R_{cond} = \frac{e}{K * A} \quad e: \text{espesor [m]}$$

$$K: \text{coeficiente de conductividad térmica} \left[ \frac{W}{m * K} \right] \quad A: \text{superficie [m}^2\text{]}$$

Sabiendo que las superficies de contacto “A” se mantiene constante en un LED de 10000 lúmenes siendo las dimensiones en torno a  $38 \times 38 \text{ mm}$  –  $40 \times 40 \text{ mm}$ . Y que el espesor en un LED de gama media es fijo de  $1.5 \text{ mm}$  y en uno de gama alta es de  $0.9 \text{ mm}$  como se puede ver en las imágenes siguientes:

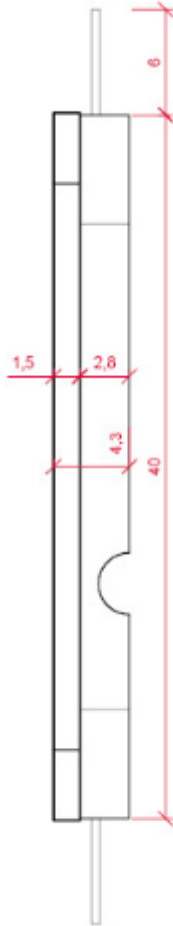


Figura 80: Espesor y superficie de un COB gama media [10]

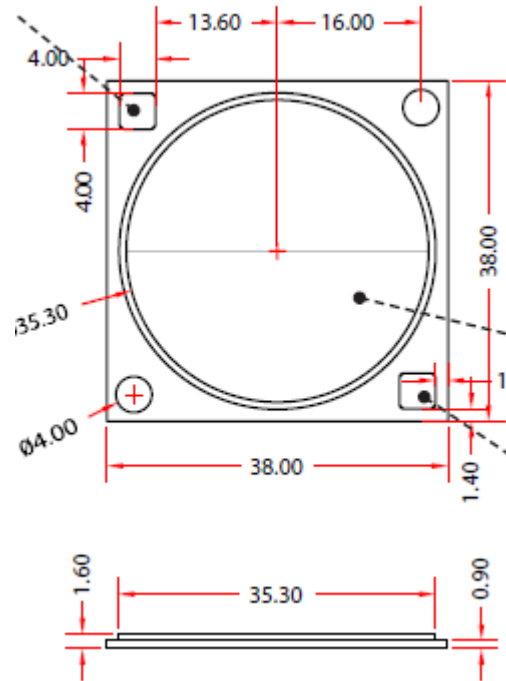


Figura 81: Espesor y superficie de un COB de gama alta [8]

Realizando los cálculos con la expresión anterior sabiendo que el área es constante en ambos modelos y que el material de dicha carcasa es el mismo por lo tanto el mismo valor de coeficiente de conductividad térmica obtenemos lo siguiente:

$$R_{\text{Gama media}} = 0.0052 \frac{K}{W}$$

$$R_{\text{Gama alta}} = 0.0031 \frac{K}{W}$$

De esta manera se confirma lo evidente, que se obtiene una menor resistencia térmica en un LED COB de gama alta lo cual garantiza una mejor gestión térmica por un coste económico no mucho más elevado.

Una vez se ha decidido que un LED COB de gama alta es la mejor elección se analizan los distintos fabricantes. Valorando el apartado económico y de calidad y gracias al asesoramiento de proveedores de distintos fabricantes la elección fue un LED COB de gama alta de la marca Edison de la serie Edi Power III HM High Power. Este componente es recomendado gracias a su buena disipación y que cumple las exigencias de unos 10000 lúmenes requeridos, algo que no es habitual en este mercado ya que se utilizan LEDs de una potencia lumínica mucho más baja.

Dado que en este apartado se valora mucho más las características térmicas, esta serie de LEDs COB presenta las siguientes:

- Fabricación basada en el espejo de aluminio.
- Gran conductividad térmica en su placa.
- Reflectividad del orden del 98% (fracción de radiación incidente reflejada por una superficie).
- Gran conductividad térmica, de las más altas del mercado  $K = 200 \frac{W}{m \cdot K}$

Todas estas prestaciones aunadas hacen de esta serie de las mejores gestionando la disipación de calor en un componente con una potencia lumínica tan grande.

### 3.2.1 CALCULO DE LAS RESISTENCIAS TÉRMICAS

Tomando las dimensiones de la figura 81 correspondiente al LED COB elegido en el proyecto, tenemos su espesor “e” y la superficie “A”

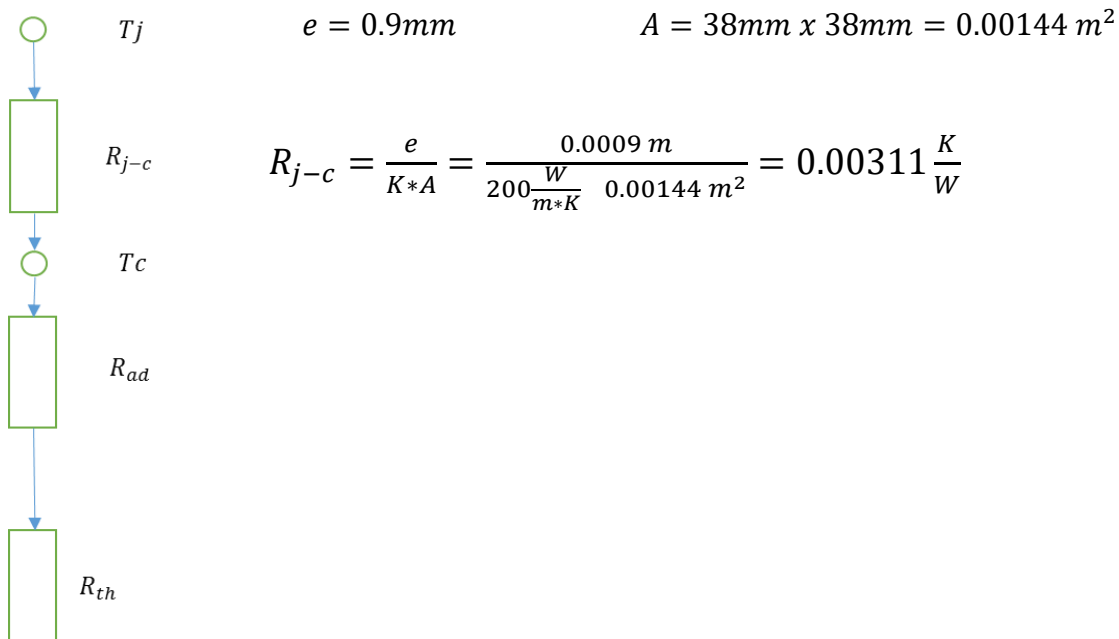


Figura 82: Circuito térmico LED COB gama alta

Para el cálculo de la resistencia térmica del adhesivo se toma como referencia las recomendaciones del fabricante que se encuentran en el datasheet:

### Recommended thermal Grease Parameters

Characteristics	Value	Unit
Thermal Conductivity (K)	>3.0	W/m*K
Thickness	≤0.1	mm

Figura 83: Recomendación de adhesivo de Edison [8]

Aplicando la misma expresión anterior obtenemos que:

$$R_{ad} = \frac{0.0001 \text{ m}}{200 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 0.00144 \text{ m}^2} = 3.46 \cdot 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

De aquí se obtiene que la resistencia total del propio componente LED COB es:

$$R_T = 3.46 \cdot 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}} + 0.00311 \frac{\text{K}}{\text{W}} = 0.0034 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Analizando el valor anterior y obviando  $R_{th}$  (cuya resistencia corresponde al disipador que se acoplara externamente al LED), la resistencia térmica que ofrece el propio LED es bastante baja, de hecho, en una primera aproximación se podría despreciar por simplificación y no se cometería error.

Una vez calculada las resistencias que se encontraran en el circuito a excepción de  $R_{th}$  que será la que marque el disipador que hay que instalar, se analizan las temperaturas óptimas de funcionamiento del LED, de esta manera imponiendo estas condiciones se podrá sacar el valor adecuado de disipación.

Tomando como base el datasheet del modelo seleccionado tenemos lo siguiente:

### Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings ( $T_c=25^\circ\text{C}$ )

Parameter	Symbol	Value	Units
Input Power	$P_i$	2PHMA2xW27P29013 : 123.9 2PHMA5xW27P29013 : 163.3	W
DC Forward Current <sup>1</sup>	$I_F$	2PHMA2xW27P29013 : 3200 2PHMA5xW27P29013 : 2800	mA
Min. Forward Current	Min. $I_F$	2PHMA2xW27P29013 : 120 2PHMA5xW27P29013 : 150	mA
Reverse Current <sup>2</sup>	$I_R$	1	mA
Operating Temperature	$T_{op}$	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{st}$	-40 ~ +100	$^\circ\text{C}$
LED junction Temperature <sup>3</sup>	$T_J$	125	$^\circ\text{C}$
Case Temperature	$T_C$	105	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance	$R_{j-c}$	2PHMA2xW27P29013 : 0.41 2PHMA5xW27P29013 : 0.20	$^\circ\text{C/W}$

Figura 84: Valores máximos de diseño y funcionamiento [8]

La anterior imagen corresponde a los valores máximos de operación y de diseño de material, así como potencia y por consiguiente corriente máxima. Estos valores tan solo son indicativos de lo que podría ser las condiciones en las cuales el dispositivo dejase de funcionar.

Se sabe que para un buen diseño del proyecto no solo se debe evitar llegar a esas temperaturas, sino que además se debe hacer que ese dispositivo funcione en el puto recomendado por el fabricante como máxima eficiencia, menor consumo y mejores condiciones.

### Relative Luminous Flux vs. Case Temperature

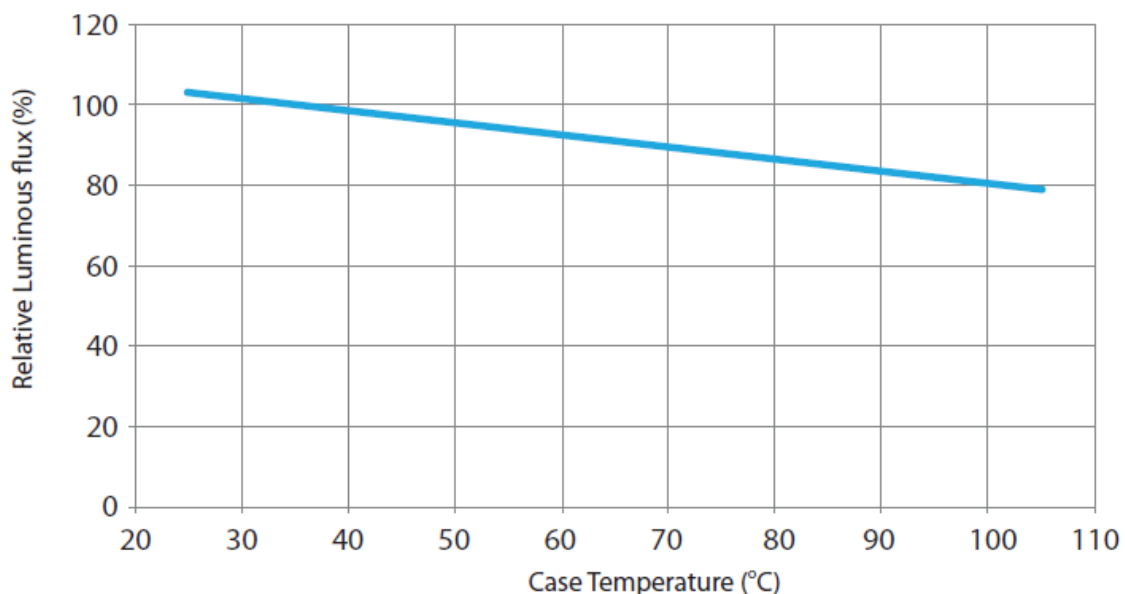


Figura 85: Flujo luminoso en función de la temperatura de la carcasa [8]



En la imagen anterior se puede observar como el flujo luminoso del LED disminuye a medida que aumenta la temperatura, es por ello que se debe garantizar que esta sea lo más baja posible, pero aprovechar al máximo la eficiencia del dispositivo.

En la siguiente imagen se muestra un gráfico de la corriente permitida en función de la temperatura de la carcasa, tal y como se ve en el apartado eléctrico del proyecto, el driver LED proporciona a estos dispositivos  $3000mA$  de manera constante. Es interesante ver como el dispositivo aprovecha toda la corriente hasta unos  $75^{\circ}C$  a partir de los cuales se desploma, con la correspondiente pérdida de luminosidad y eficiencia.

Es por ello que se debe evitar llegar a esas temperaturas para prevenir pérdidas de luminosidad, además de reducción de la vida útil.

#### Allowable Forward Current vs. Case Temperature

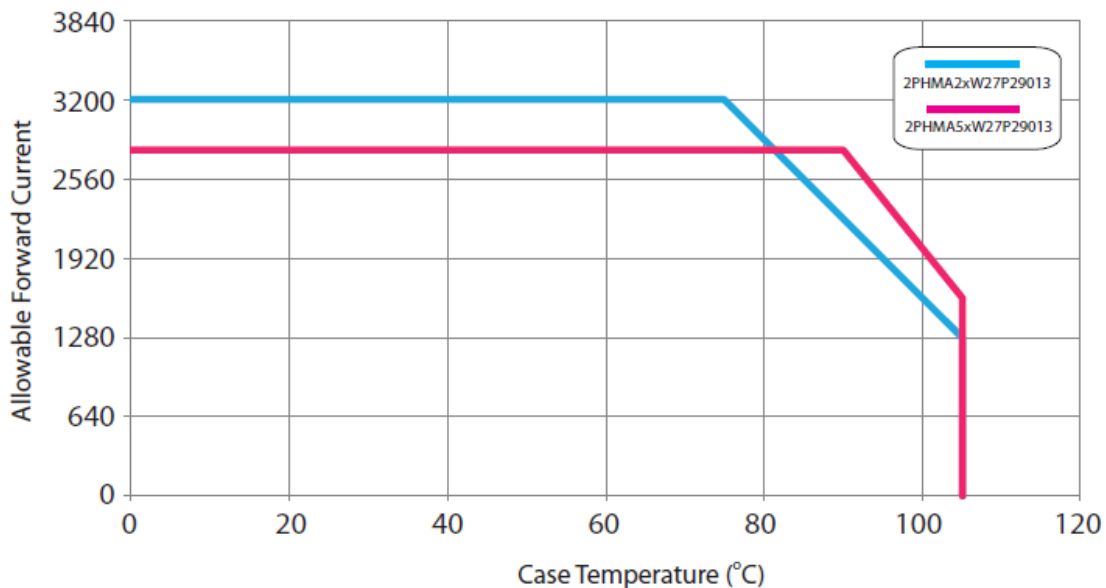


Figura 86: Corriente directa admitida en función de la temperatura [8]

Por último, mostrar una tabla en la que se puede ver las estimaciones de confiabilidad según las condiciones en las que opera el dispositivo LED:

### Reliability

NO .	Test Item	Test Condition	Remark
1	Temperature Cycle	-40°C~100°C ( 30 mins / 30 mins )	100 Cycle
2	Thermal Shock	-40°C~100°C (15,min/15 mins 10 sec)	100 Cycle
3	High-Temperature Storage	Ta=100°C	1000 hrs
4	Humidity Heat Storage	Ta=85°C, RH=85%	500 hrs
5	Low-Temperature Storage	Ta= -40°C	1000 hrs
6	Operation Life test	25°C	6000 hrs
7	High Temperature Operation Life test	85°C	1000 hrs
8	ON/OFF Test	30 sec ON, 30 sec OFF	1.5W times

Figura 87: Estimación de vida útil [8]

Una vez analizadas las recomendaciones del fabricante hay que valorar la utilización del dispositivo y el coste que supone. Lo primero que hay que exponer es que este foco LED como se ha dicho se utilizara en ensayos muy breves en los cuales el LED no llega a alcanzar altas temperaturas, sin embargo, hay que evitar sea cual sea las condiciones de funcionamiento que los valores de temperaturas lleguen a niveles no deseados.

Basándose en los gráficos se establece una temperatura de diseño  $T_j = 60^\circ\text{C}$  para un correcto funcionamiento del LED y evitando un gasto innecesario de sobredimensionamiento, la temperatura ambiente sabiendo que está en un laboratorio y considerando las peores condiciones una temperatura ambiente  $T_{amb} = 30^\circ\text{C}$ . Hay que tener claro, como se comentó anteriormente, que el driver LED proporciona  $3000\text{mA}$  y una potencia de  $300\text{W}$ , es decir, cada LED no se llevara al máximo de su potencia ( $123.9\text{W}$ ) sino a unos  $100\text{W}$  que es una potencia recomendada por el fabricante para no someter al dispositivo a su máximo funcionamiento.

Una vez aclarado lo anterior, habrá que disipar de cada LED  $100\text{W}$  de potencia.

$$Q = \frac{\Delta T}{R_T} ; \quad R_T = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{60^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}{100\text{W}} = 0.3 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} = 0.3 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Dada la expresión anterior se sabe que  $R_T = 0.3 \frac{\text{K}}{\text{W}}$ , lo que significa que por cada LED para poder disipar de manera eficiente la generación de calor la resistencia térmica total no debe superar ese valor.

Analizando la resistencia térmica total tenemos lo siguiente:

$$R_T = R_{j-c} + R_{ad} + R_{th} = 0.00311 \frac{K}{W} + 3.46 * 10^{-4} \frac{K}{W} + R_{th} = 0.3 \frac{K}{W}$$

$$R_{th} \cong 0.3 \frac{K}{W}$$

Como se estimó anteriormente la resistencia interna que presenta el LED es prácticamente despreciable, es decir, favorece de manera muy buena a la gestión térmica de la temperatura del mismo, con lo cual ahora el único componente que quedaría por dimensionar sería el disipador externo.

### 3.3 DISIPADOR EXTERNO

Teniendo en cuenta que en cada driver LED se conectarán 3 LEDs COB para analizar de mejor manera las posibles opciones de disipadores, supondremos un montaje de 3 LEDs COB, es decir, necesitamos disipar 300W de potencia, lo cual significa que nuestro disipador debe tener una resistencia térmica de  $R_{th} = 0.1 \frac{K}{W}$

Con esa premisa clara, se busca un disipador que cumpla dichas exigencias, además de tener en cuenta su coste económico, calidad y otra serie de variables.

En el mercado existe multitud de disipadores pensados y diseñados para la disipación de calor en un LED, típicamente un COB.

Estos disipadores muchas veces están pensados para montar muchos LEDs COB de baja potencia y así conseguir una iluminación bastante buena, en este caso al tratarse de LEDs COB de 100W supone que se puedan montar en estos disipadores muy pocos LEDs.

Hay varios tipos y diseños hay que centrarse en los que cumplen con los requerimientos necesarios de refrigeración, podemos dividirlos en:

- Modulares
- De aleación con aletas
- Convección forzada

### 3.3.1 MODULARES

Disipadores con varios puntos de fijación que permite usar COBs y fuentes de luz de diferentes fabricantes. De este tipo de disipadores cabe destacar una nueva tecnología ya desarrollada con muy buen resultado.

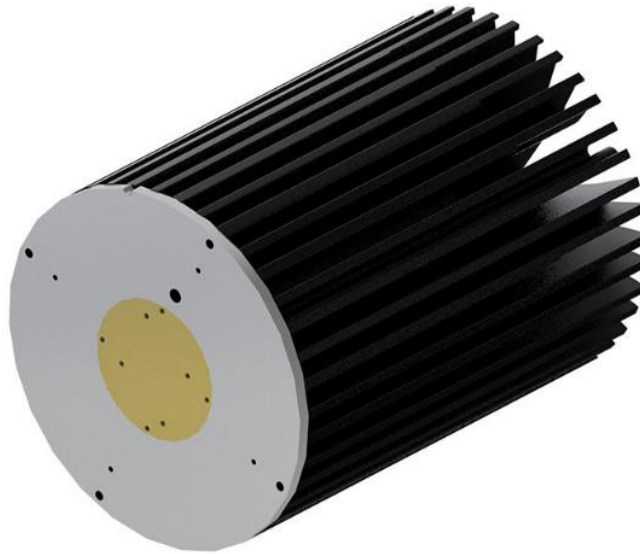


Figura 88: Disipador modular [10]

Este disipador tiene un núcleo de cobre conectado a cuatro tuberías con un sistema especial que transmite rápidamente y de forma eficiente el calor al otro extremo del disipador. De esta forma se puede usar un disipador de tamaño reducido para aplicaciones de alta potencia. El líquido en el interior de las tuberías se transforma en gas al calentarse y al enfriarse en el extremo contrario se vuelve líquido creando un flujo eficiente para una correcta disipación.

Este método de disipación hace que sea muy eficiente, estos modelos pueden llegar a disipar hasta  $350W$  sin embargo como se puede ver en la imagen tan solo se podría montar un chip LED en cada disipador (zona de color cobre) y es su principal problema porque en este caso habría que montar 3 COBs y un solo LED de  $300W$  no aporta los lúmenes necesarios en el proyecto, además de su encarecimiento y mayor consumo.

### 3.3.2 DE ALEACIÓN CON ALETAS

Este tipo de disipador es más convencional, diseñado usando aleaciones templadas con mayor conductividad térmica para maximizar el rendimiento de refrigeración así como un aumento de la superficie favorecen el montaje de varios LEDs.

Si se busca un modelo con una resistencia térmica que estamos buscando obtenemos de manera general lo siguiente disipadores con superficies aleteadas de gran tamaño.

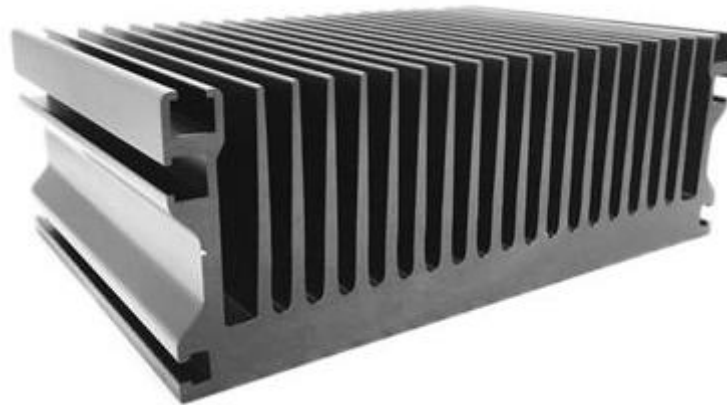


Figura 89: Disipador de aletas [10]

Este disipador cumple con los requerimientos necesarios del proyecto al igual que el anterior modular, tiene una  $R_{th} = 0.1 \frac{K}{W}$  capaz de disipar los  $300W$  necesarios, sin embargo, su principal problema no es la superficie reducida de montaje de los LEDs como en el anterior caso, sino sus dimensiones excesivas para colocar tan solo 3 LEDs. Sus dimensiones son  $150 \times 215 \times 77mm$  demasiados grandes para montar 3 LEDs cuadrados de  $38 \times 38mm$ .

Una vez se ha analizado estas 2 opciones, es evidente que ninguna es la óptima o bien por dificultades de montaje de los LEDs sobre el disipador, o por unas dimensiones excesivas para un foco LED que tiene que ser versátil, ágil y que se pueda desplazar con facilidad adonde se necesite.

Para lograr una resistencia térmica tan baja como la que se exige habrá que utilizar otros métodos de refrigeración, que permitan un montaje sencillo de los LEDs sobre el disipador y cuyas dimensiones no sean muy grandes y nos proporcione un montaje compacto.

### 3.3.3 CONVECCION FORZADA

La solución se encuentra en una serie de disipadores de calor cuyas dimensiones se han reducido gracias que la convección es forzada, es decir, se ayudan de un “fan” o ventilador que reduce la  $R_{th}$ .

La idea de diseño es sencilla: un disipador con superficie aleteada con un ventilador axial que ayude a la disipación.

Este tipo de disipadores son distribuidos por Fischer Elektronik y presentan una gama bastante amplia denominada “Cooling aggregates with axila fan” de la serie LA y LA V, estos últimos presentan una cámara de aire que favorece el flujo y con ello la mejor refrigeración. Estos disipadores se dividen en los siguientes grupos:

1. LA 6 (1 ventilador)
2. LA 7 (2 ventiladores)
3. LA 8 (3 ventiladores)
4. LA V 6 (1 ventilador + cámara de flujo de aire)
5. LA V 7 (2 ventiladores+ cámara de flujo de aire)
6. LA V 8 (3 ventiladores+ cámara de flujo de aire)

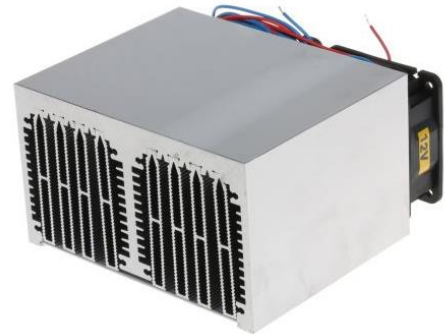


Figura 90: Disipador con ventiladores axiales

Se debe valorar cuál de todos los disipadores se ajusta mejor a los requerimientos del proyecto tanto térmicos como de diseño, hay que recordar que sobre estos disipadores irán montados los LEDs que posteriormente se fijara en un soporte que conformara el foco LED refrigerado.

Centrándonos en los aspectos térmicos de los disipadores y no tanto de diseño y tomando como referencia por ejemplo el disipador LA 6 y LA V 6 para ver las diferencias entre ambos, basándose en el datasheet de los 2 disipadores tenemos lo siguiente:

- La cámara de flujo de aire reduce la resistencia térmica del disipador.
- Las dimensiones de longitud varían de  $100mm$  –  $300mm$ .
- La altura en todos es fija de  $74mm$ .
- El ancho depende de cada modelo según los ventiladores que lo componen  $62mm$  –  $188mm$ .

Ciñéndonos a los requerimientos térmicos con ayuda de una gráfica se puede ver la variación de la resistencia térmica en función del aumento de longitud:

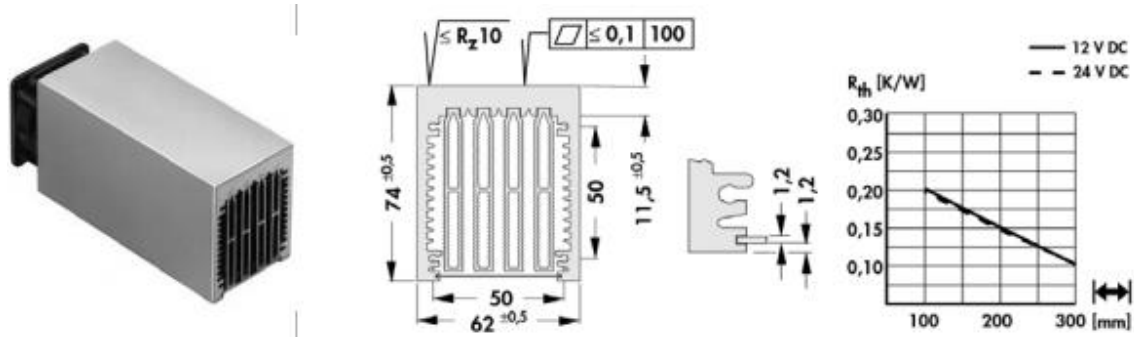


Figura 91: Disipador LA 6: dimensiones y resistencia térmica [13]

En la anterior imagen se puede observar como su  $R_{th}$  disminuye  $0.2 \frac{K}{W} - 0.1 \frac{K}{W}$  al aumentar la longitud. Sin embargo si a ese mismo modelo le añadimos una cámara de flujo de aire que mejore las condiciones de refrigeración tenemos el siguiente resultado:

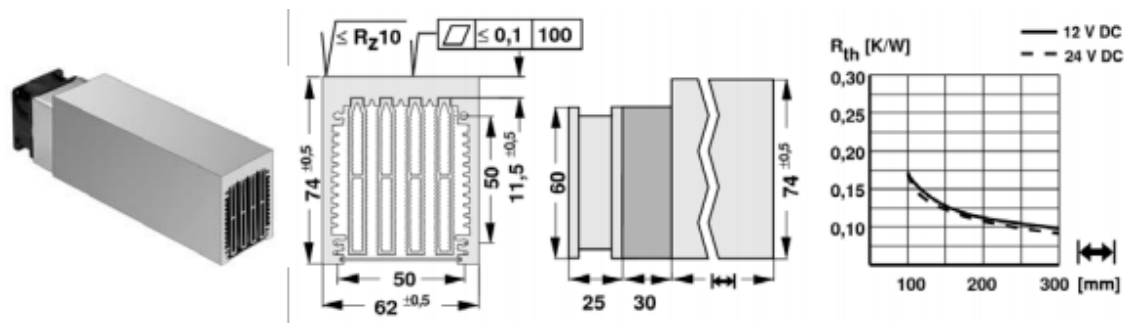


Figura 92: Disipador LA V 6: dimensiones y resistencia térmica [13]

La cámara de aire añade 30mm de longitud al disipador sin embargo su resistencia térmica disminuye respecto al modelo sin cámara, analizando las gráficas se puede observar como para una longitud de disipador de 100 mm la  $R_{th}$  disminuye  $0.05 \frac{K}{W}$ , esta curva se hace más pronunciada su disminución en longitudes cortas ya que la cámara de aire mantiene el flujo laminar sobre todo en las zonas más cercanas al ventilador a medida que la longitud va aumentando la curva tiene un descenso menos pronunciado y la resistencia térmica varía ligeramente.

Teniendo en cuenta lo anterior y tal y como se explica en el apartado de diseño se valorará que disipador es el más adecuado en función de sus dimensiones, características térmicas, coste etc.

#### 4. OPCIONES DE DISEÑO

De manera paralela a la búsqueda de una buena gestión térmica y eléctrica se debe buscar un diseño versátil y ágil para la utilización del foco. No se debe olvidar que a pesar de que su funcionamiento será dentro de un laboratorio es conveniente que su montaje se realice de manera compacta y que el soporte permita diversos movimientos de altura e inclinación.

Para empezar cabe mencionar que para conseguir una instalación rígida, estable y compacta se ha optado por acoplar el disipador a una caja metálica que facilite su instalación en un soporte y de esta manera evitar manipular constantemente la instalación disipador-LED.

Se tiene 2 opciones de cajas viables según las dimensiones de los disipadores, el principal limitante es la altura del disipador que está en 74mm. Las cajas vienen en 2 partes como se puede ver en la imagen siguiente:

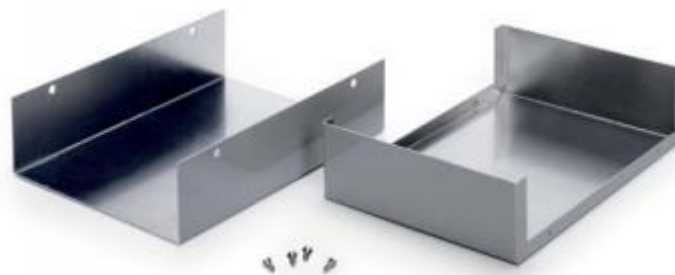


Figura 93: Partes de una caja metálica [14]

Como se puede observar no se trata de una caja con características propias de impermeabilidad o un IP alto que garantice que dicha caja está preparada para entornos con agua, polvo o suciedad intensa, en este caso la instalación no lo requiere en gran medida y supone un aumento considerable del coste, además se mecanizaran cortes en las cajas para la entrada y salida del aire del disipador. Por esta misma razón la opción de la fabricación de una caja a medida se deshecha y se considera la opción de buscar una caja que se adapte al disipador.

Teniendo en cuenta las dimensiones posibles del disipador, la gama de cajas se reduce a un par de modelos.



#### 4.1 OPCIONES DE CAJA

- Caja 175x155x75 (31040113)

**Minibox**  
31040113

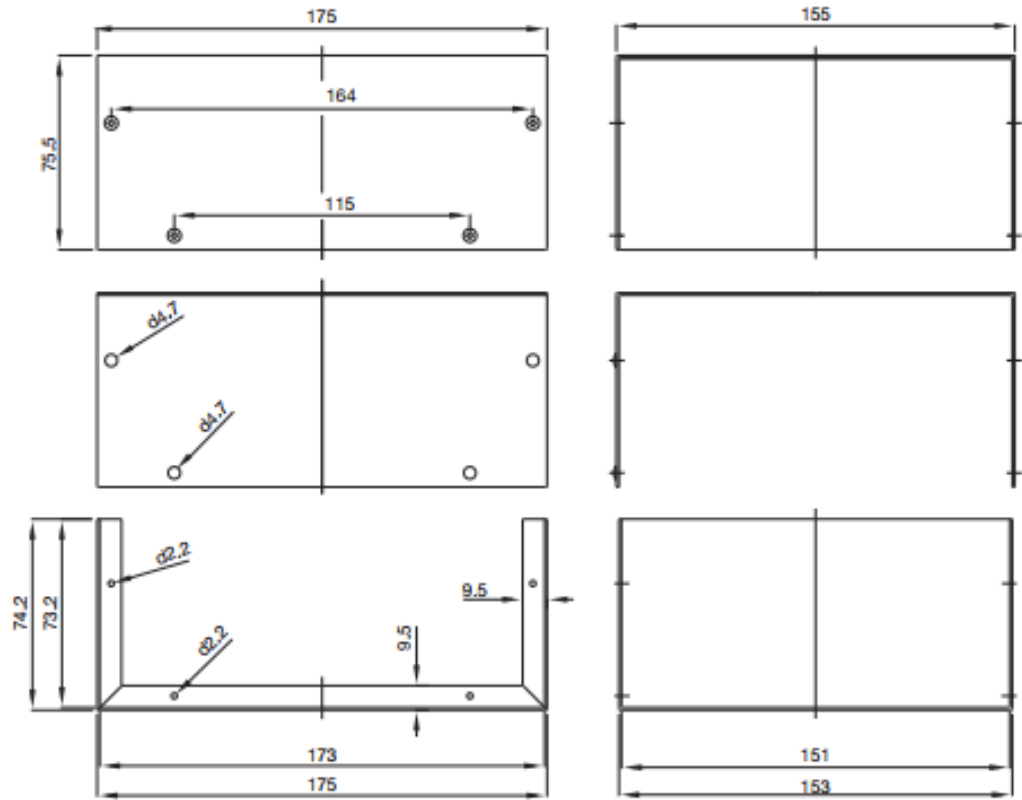


Figura 94: Planos y dimensiones de la caja 175x155x75 (31040113) [15]

- Caja 205x205x105 (31040115)

**Minibox**  
31040115

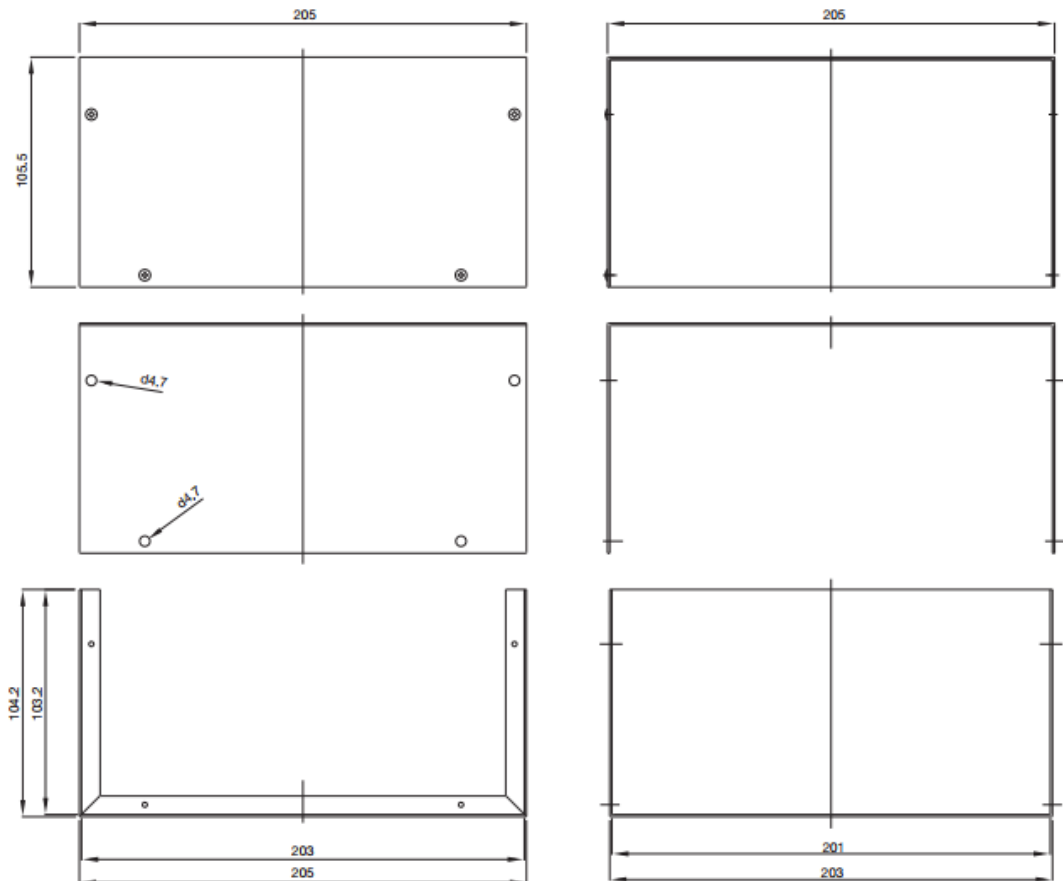


Figura 95: Planos y dimensiones de la caja 205x205x105 (31040115) [15]

Para los disipadores hay una gama bastante más grande considerando unas medidas del orden de las cajas, se tendría unas 6 opciones de montaje según el modelo y el número de chips LEDs que se podría poner. Se dividen en 2 grupos de modelos: LA x y LA V x, este último tiene una cámara de flujo de aire laminar tal y como se comenta en el apartado de gestión térmica lo cual reduce la resistencia favoreciendo el flujo laminar de aire ayudando a una mejor refrigeración, sin embargo, esa cámara es de 30mm de longitud.

Para una mejor percepción de los modelos y los posibles montajes del disipador + LEDs + caja se han realizado montajes virtuales mediante Solid Edge para una mejor valoración de las opciones.

## 4.2 OPCIONES DE MONTAJE

### 1. LA V 8 (205x188x74) con caja 205x205x105

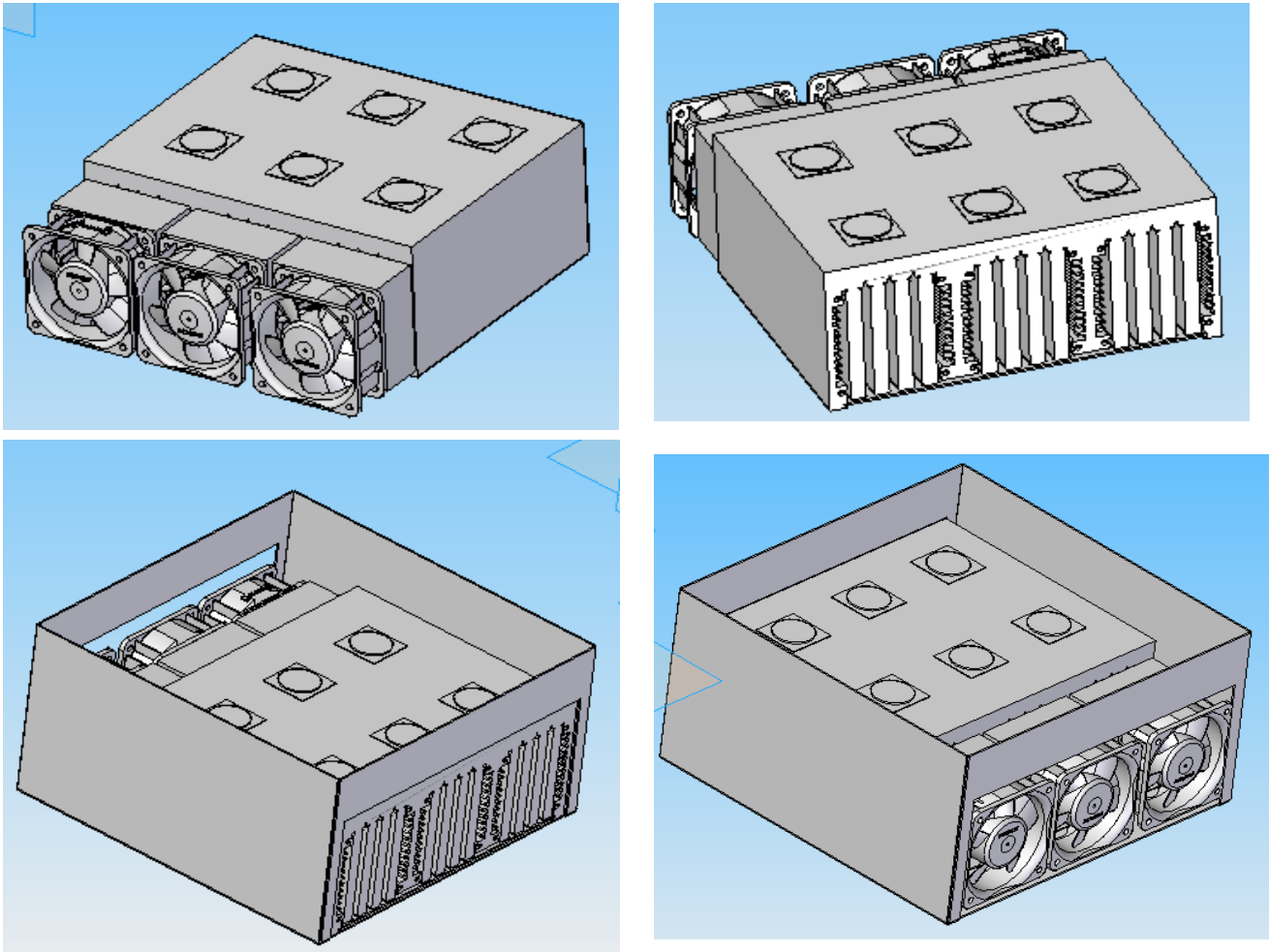
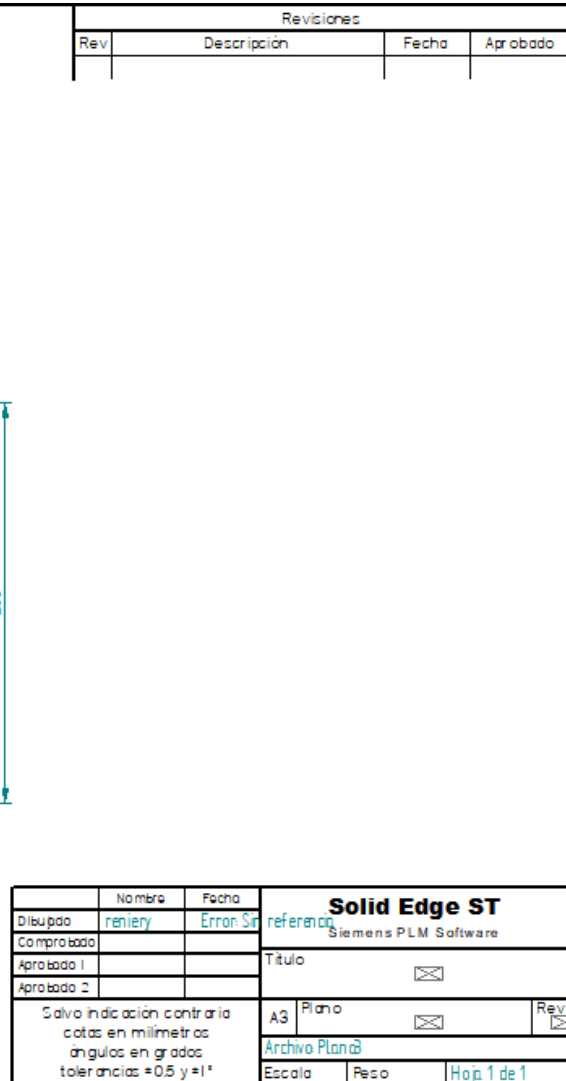


Figura 96: LA V 8 (205x188x74) con caja 205x205x105 y montaje de 6 LEDs

Observaciones: Como se puede observar de altura sobra 30 mm sin embargo en longitud es 205 mm exactamente lo de la caja, con lo cual la pestaña de la parte inferior habría que mecanizarla y cortarla porque según los planos la medida interior es de 203 mm y la medida de disipador+ fan + cámara de aire es 205 mm. La holgura lateral sería de 8.5 mm a cada lado y la principal ventaja sería la del montaje de 6 LEDs en un mismo disipador.

OPCIÓN 1	Datos	Coste	Unidades	Coste montaje 12 COBs
Disipador	LA V 8 ( $R_{th}=0.05$ )	236.72€/ud.	2	473.44€
Caja	Caja 205x205x105 (31040115)	22.02€/ud.	2	44.04€
Número de COBS	6			
Coste total	517.48€			

Tabla 3: Coste de la opción de montaje 1



73 | OPCIONES DE DISEÑO

## 2. LA 8 (125x188x74) con caja 205x205x105

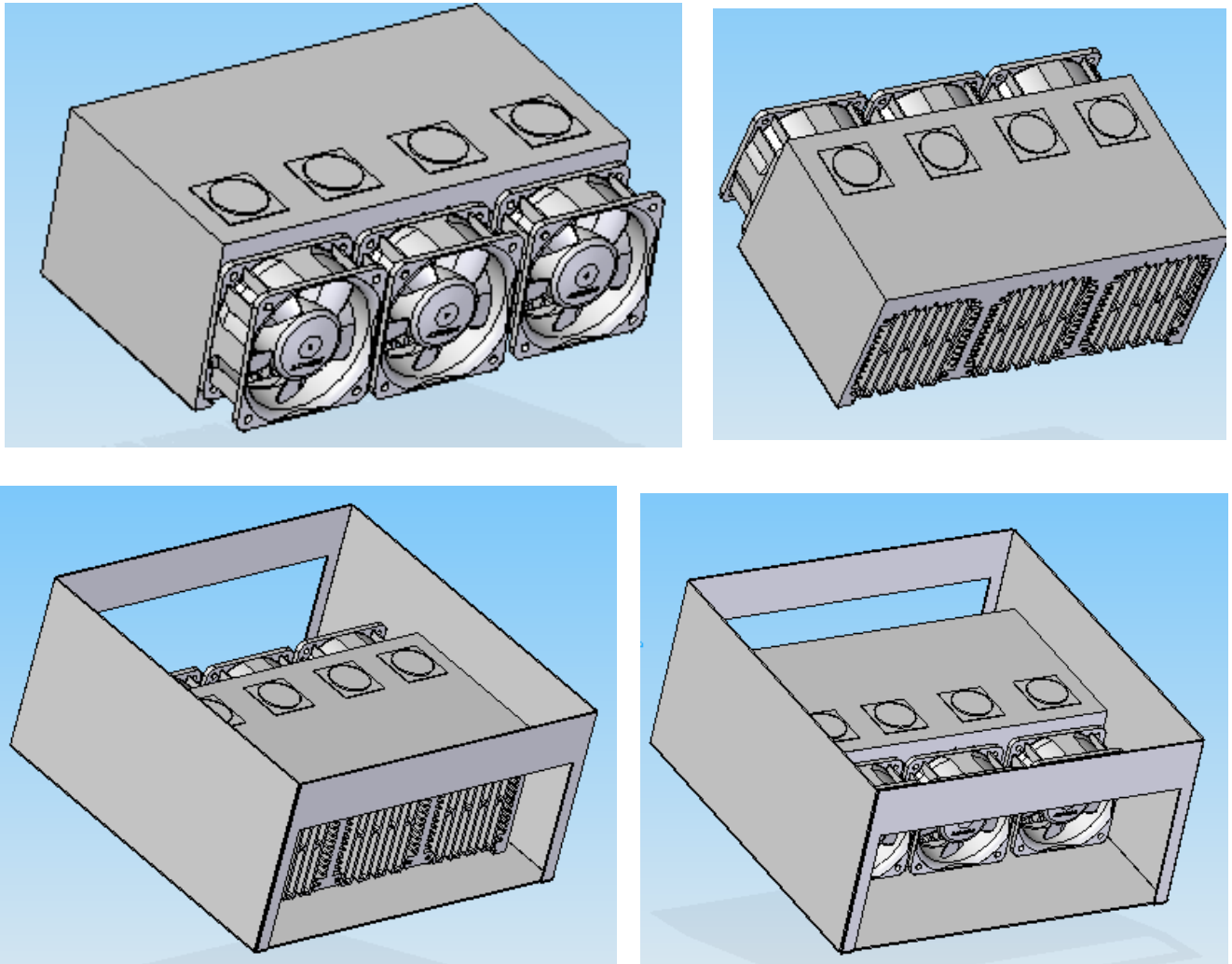


Figura 98: LA 8 (125x188x74) con caja 205x205x10 y montaje de 4 LEDs

Observaciones: En este caso sobra  $8.5\text{ mm}$  en cada lado y respecto a la longitud  $30\text{ mm} - 35\text{ mm}$  desde cada extremo. No habría que mecanizar pestañas inferiores simplemente hacer los cortes para los agujeros de entrada y salida de aire, de altura igual que el anterior sobraría  $30\text{ mm}$ .

OPCIÓN 2	Datos	Coste	Unidades	Coste montaje 12 COBs
Disipador	LA 8 ( $R_{th}=0.075$ )	189.78€/ud.	3	569.34€
Caja	Caja205x205x105 (31040115)	22.02€/ud.	3	66.06€
Número de COBS	4			
Coste total	635.40€			

Tabla 4: Coste de la opción de montaje 2

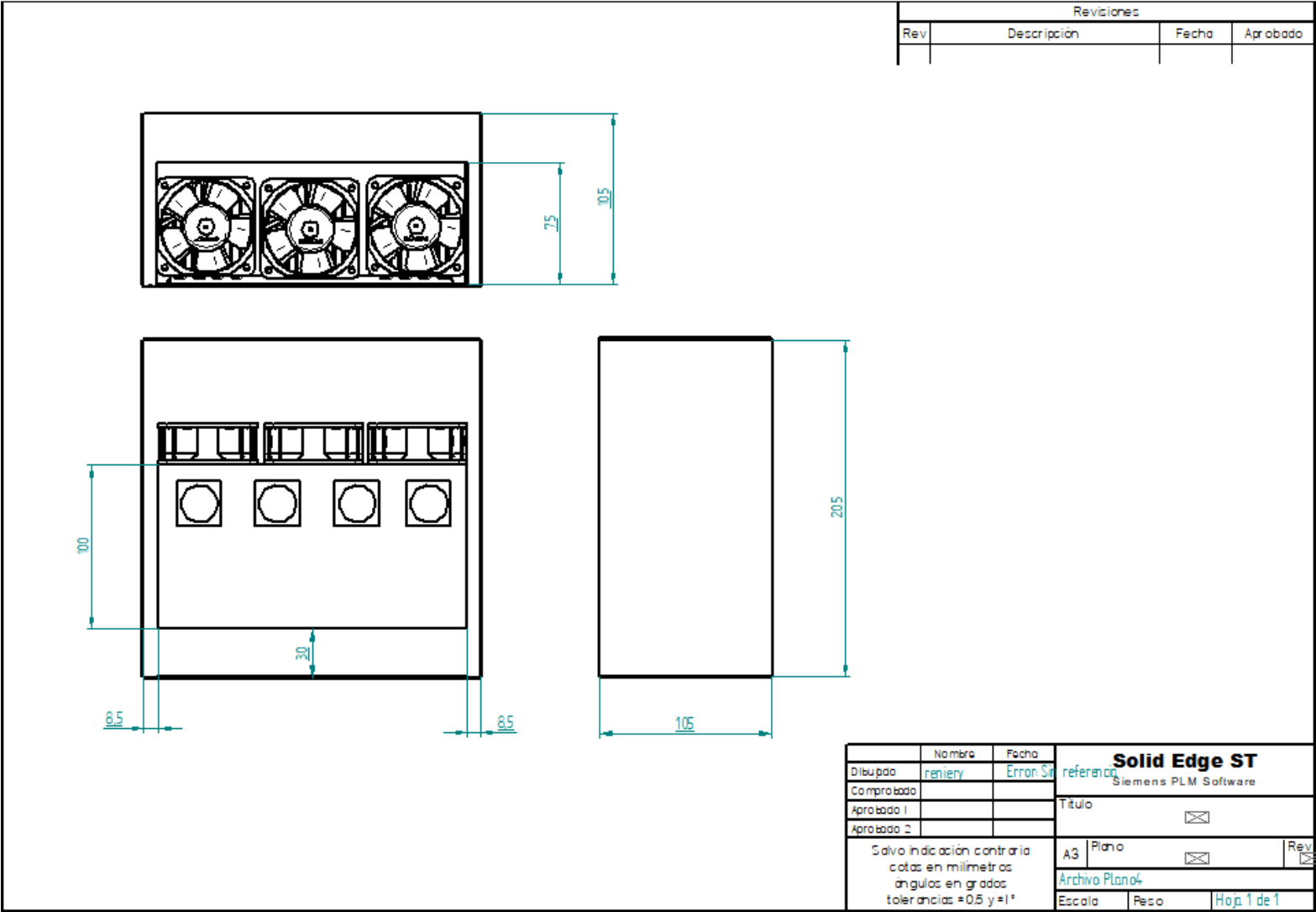


Figura 99: Planos y dimensiones de la opción de montaje 2

## 3. LA V 8 (155x188x74) con caja 205x205x105

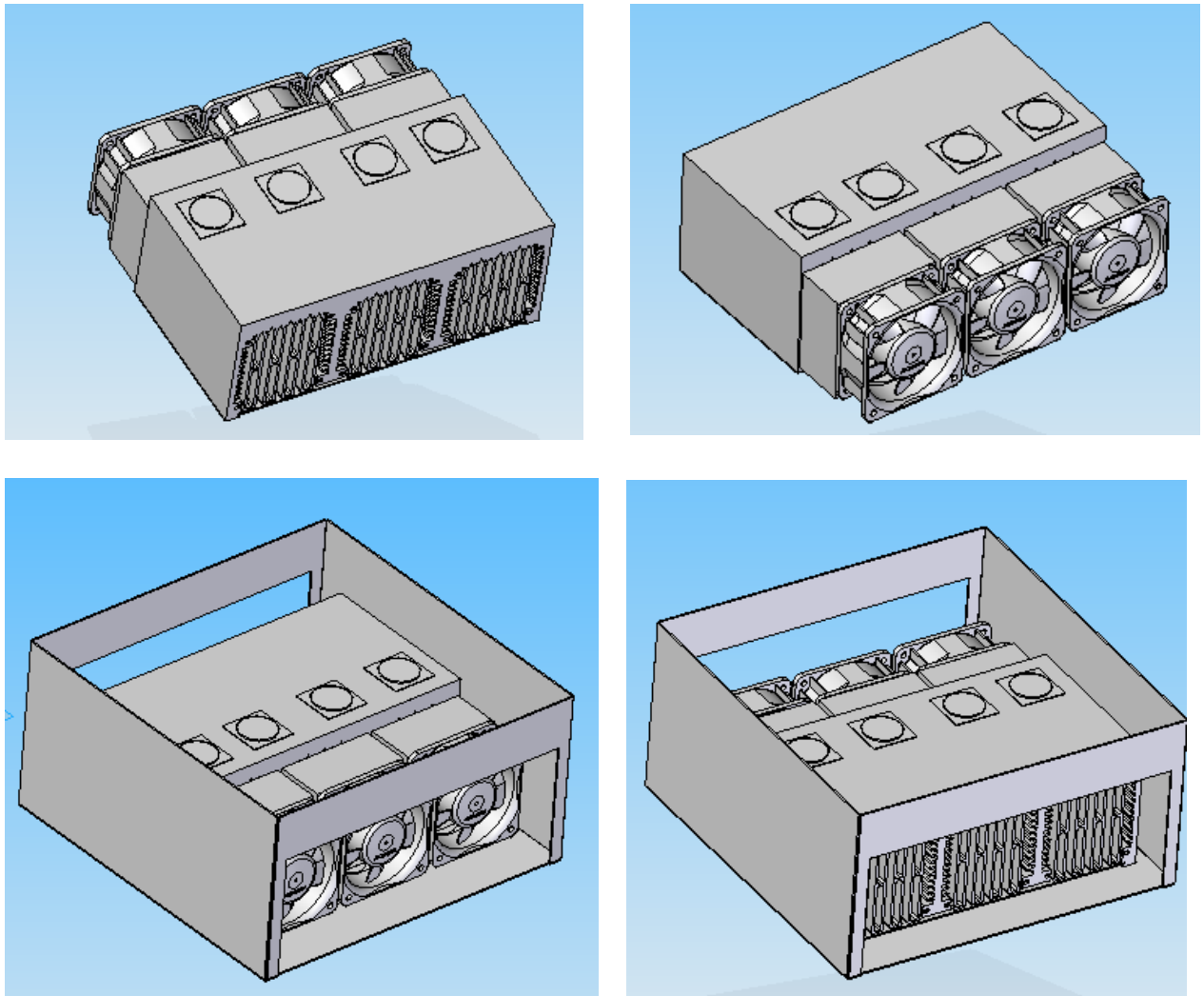


Figura 100: LA V 8 (155x188x74) con caja 205x205x105 y montaje de 4 LEDs

Observaciones: En esta opción el modelo lleva la cámara de flujo de aire, aunque permita de igual manera solo colocar 4 LEDS la  $R_{th}$  disminuye ligeramente y entra más ajustado en la caja, de igual manera 8,5 mm a cada lado, y los extremos ahora se reducen a 25 mm de holgura. Con este modelo, aunque no se logran colocar más LEDS esos 4 chips estarían mejor refrigerados con un coeficiente de seguridad mayor.

OPCIÓN 3	Datos	Coste	Unidades	Coste montaje 12 COBs
Disipador	LA V 8 ( $R_{th}=0.07$ )	212.26€/ud.	3	636.78€
Caja	Caja 205x205x105 (31040115)	22.02€/ud.	3	66.06€
Número de COBS	4			
Coste total	702.84€			

Tabla 5: Coste de la opción de montaje 3

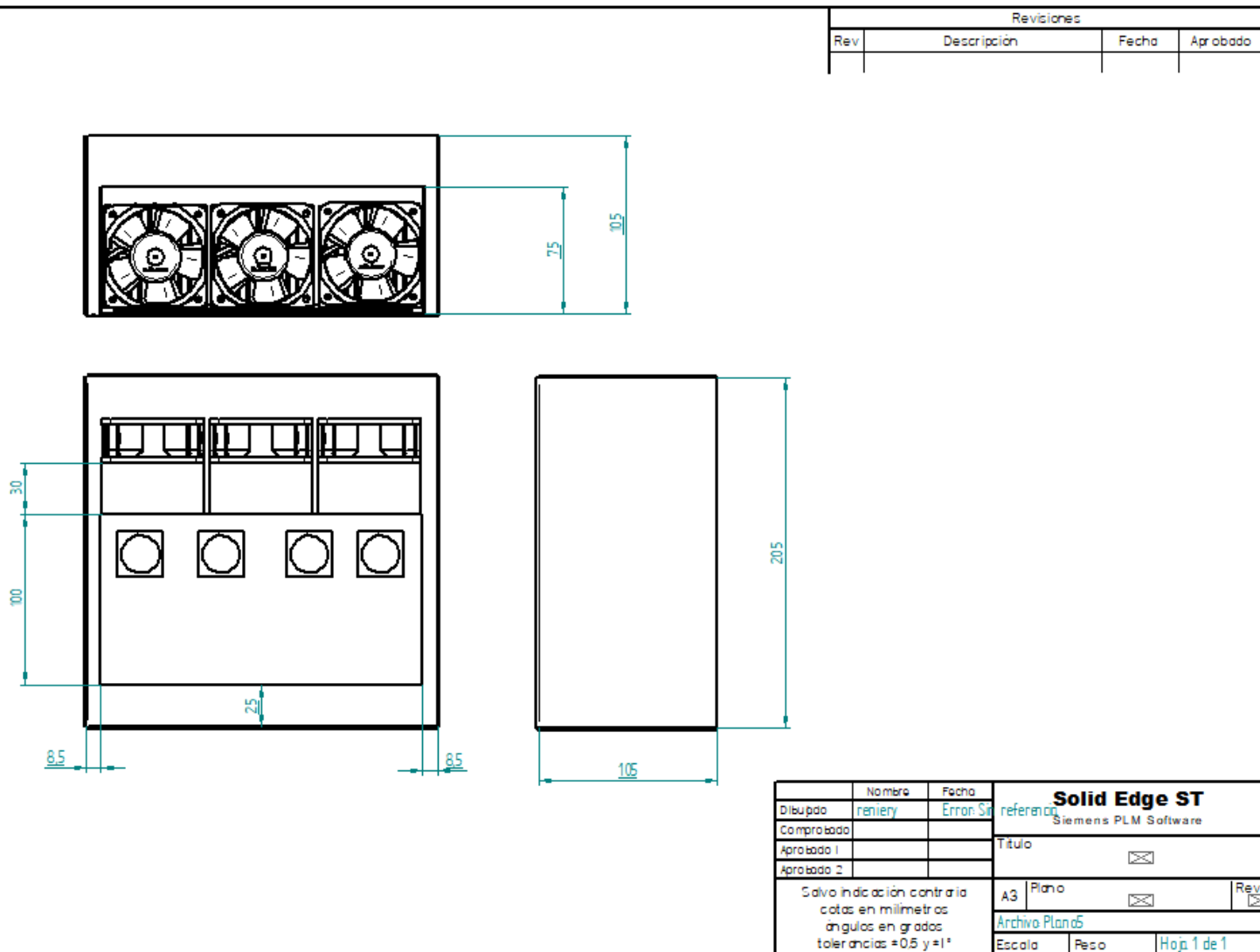


Figura 101: Planos y dimensiones de la opción de montaje 3



## 4. LA 7 (175x125x74) con caja 175x155x75

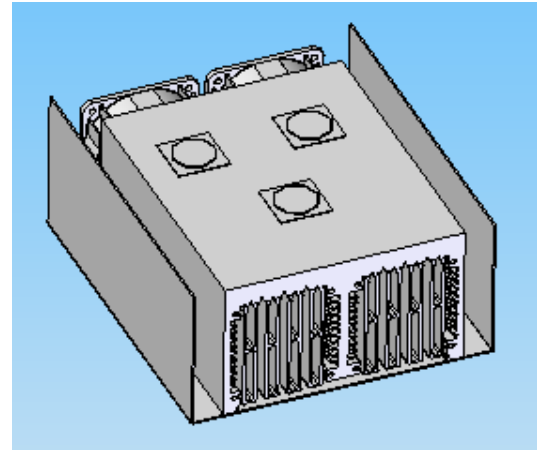
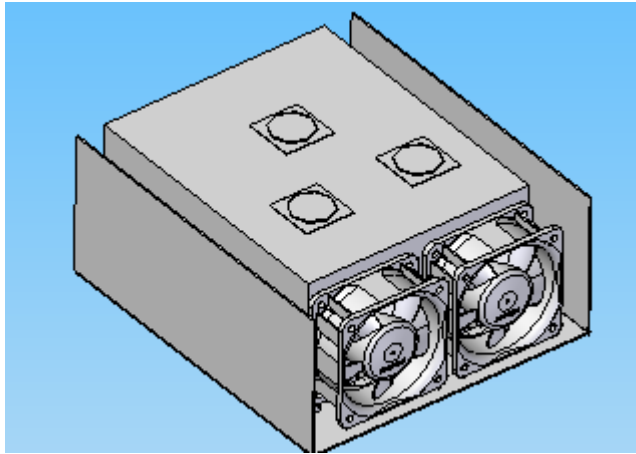
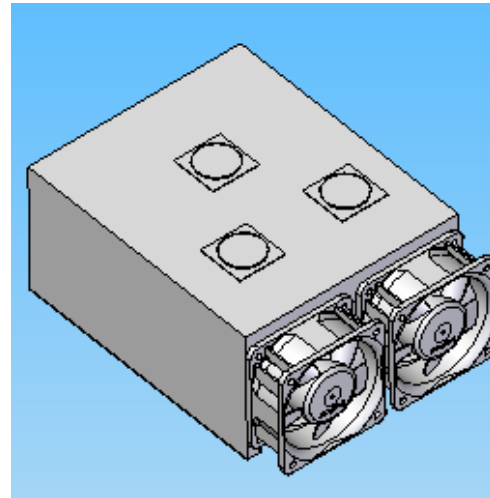
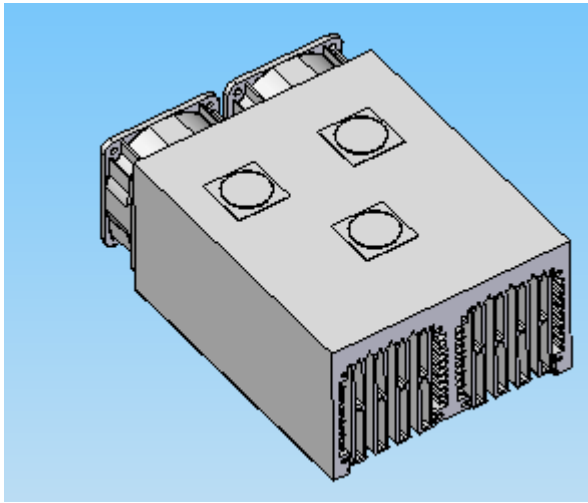
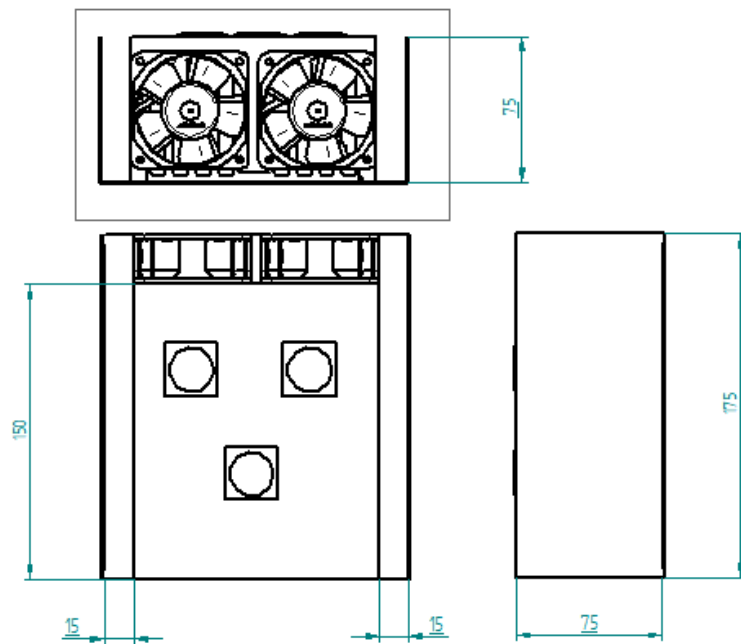


Figura 102: LA 7 (175x125x74) con caja 175x155x75 y montaje de 3 LEDs

Observaciones: Con esta opción ocurre lo mismo que en el caso 1, es decir, habría que cortar las pestañas inferiores de la caja ya que la medida interior es de 173 mm y la del disipador de 175 mm. La altura es de 75 mm siendo la del disipador 74 mm con lo cual la opción más viable es montarlo sin agujeros utilizando solo una parte de la caja. En cuanto a los laterales habría una holgura de 15 mm a cada lado.

OPCIÓN 4	Datos	Coste	Unidades	Coste montaje 12 COBs
Disipador	LA 7 ( $R_{th}=0.1$ )	150.48€/ud.	4	601.92€
Caja	Caja 175x155x75 (31040113)	16.13€/ud.	4	64.52€
Número de COBS	3			
Coste total	666.44€			

Tabla 6: Coste de la opción de montaje 4



Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Nombre	Fecha	<b>Solid Edge ST</b>	
Dibujado: renier	Erron Sa	Siemens PLM Software	
Comprobado		Título	
Aprobado 1		A3 Plano	
Aprobado 2		Archivo Plano6	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		Escala	Peso
		Hoja 1 de 1	

Figura 103: Planos y dimensiones de la opción de montaje 4

## 5. LA V 7 (155x125x74) con caja 175x155x75

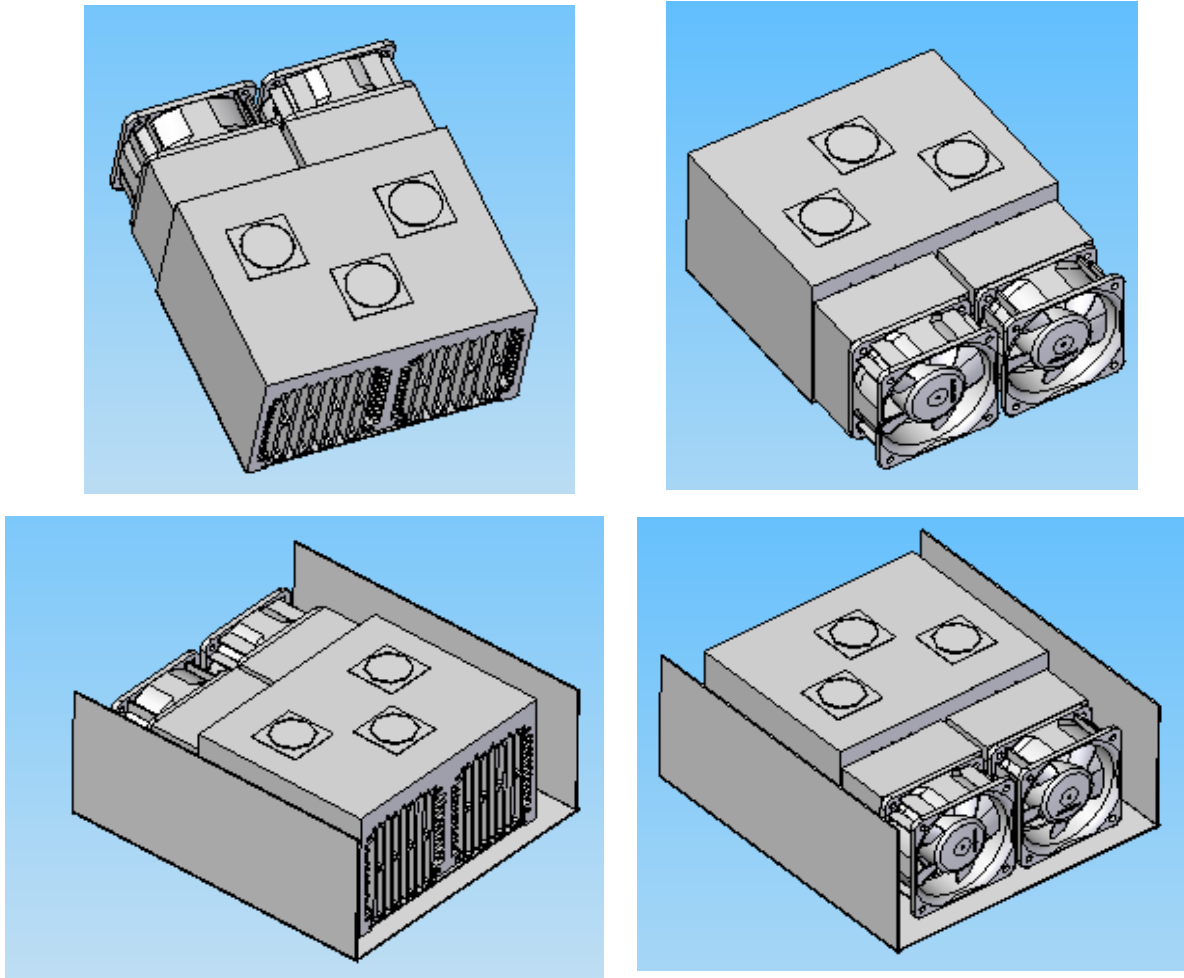


Figura 104: LA V 7 (155x125x74) con caja 175x155x y montaje de 3 LEDs

Observaciones: Con este modelo las holguras de los laterales son de 15 mm a cada lado y por los extremos 10 mm, es decir, encajaría de manera ajustada, pero sin tener que mecanizar las pestañas, la altura es de 74 mm el disipador y 75 mm de la caja, se pueden colocar 3 LEDs igual que en el caso anterior pero ahorrándose 20 mm de longitud en el disipador gracias a la cámara de flujo de aire.

OPCIÓN 5	Datos	Coste	Unidades	Coste montaje 12 COBs
Disipador	LA V 7 ( $R_{th}=0.1$ )	150.04€/ud.	4	600.16€
Caja	Caja 175x155x75 (31040113)	16.13€/ud.	4	64.52€
Número de COBs	3			
Coste total	664.68€			

Tabla 7: Coste de la opción de montaje 5

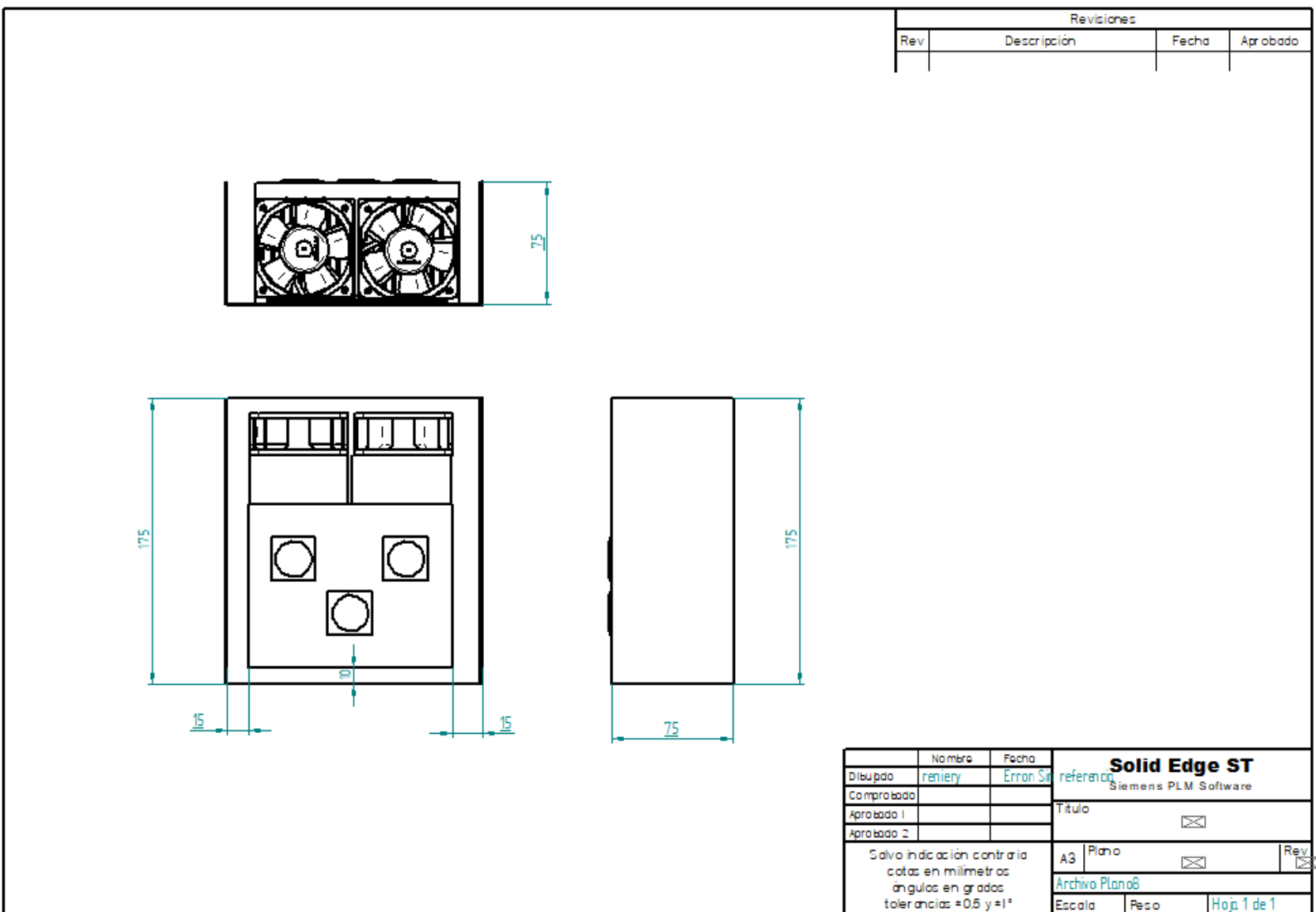


Figura 105: Planos y dimensiones de la opción de montaje 5

## 6. LA V 7 (205x125x74) con caja 205x205x105

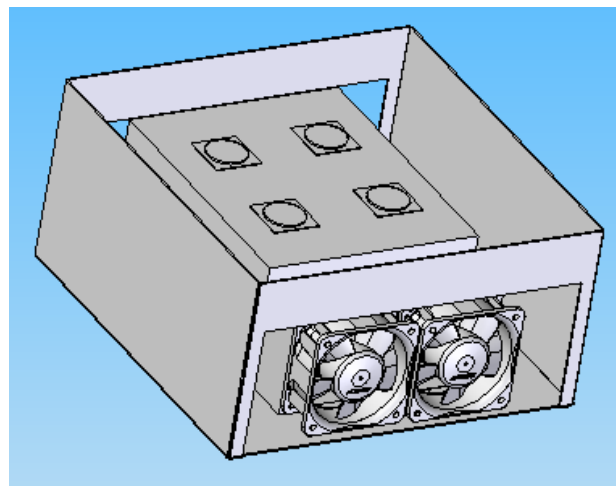
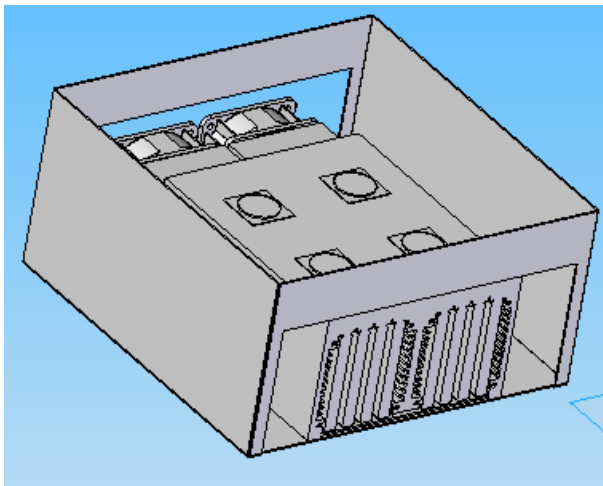
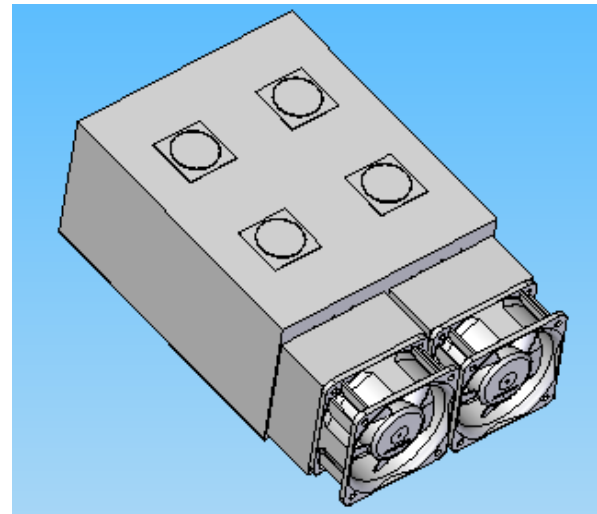
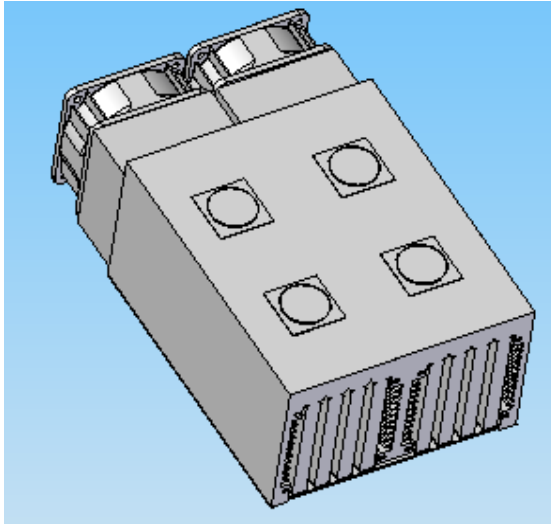


Figura 106: LA V 7 (205x125x74) con caja 205x205x105 y montaje de 4 LEDs

Observaciones: En este caso como en otros anteriores se tendría que quitar las pestañas interiores para que pase de 203 mm a 205 mm necesarios, el problema es la holgura en los laterales que sería de 40 mm a cada lado muy superior a otras opciones, y 30 mm de diferencia en cuanto a la altura.

OPCIÓN 6	Datos	Coste	Unidades	Coste montaje 12 COBs
Disipador	LA V 7 ( $R_{th}=0.075$ )	164.71€/ud.	3	494.13€
Caja	Caja205x205x105 (31040115)	22.02€/ud.	3	66.06€
Número de COBS	4			
Coste total	560.19€			

Tabla 8: Coste de la opción de montaje 6

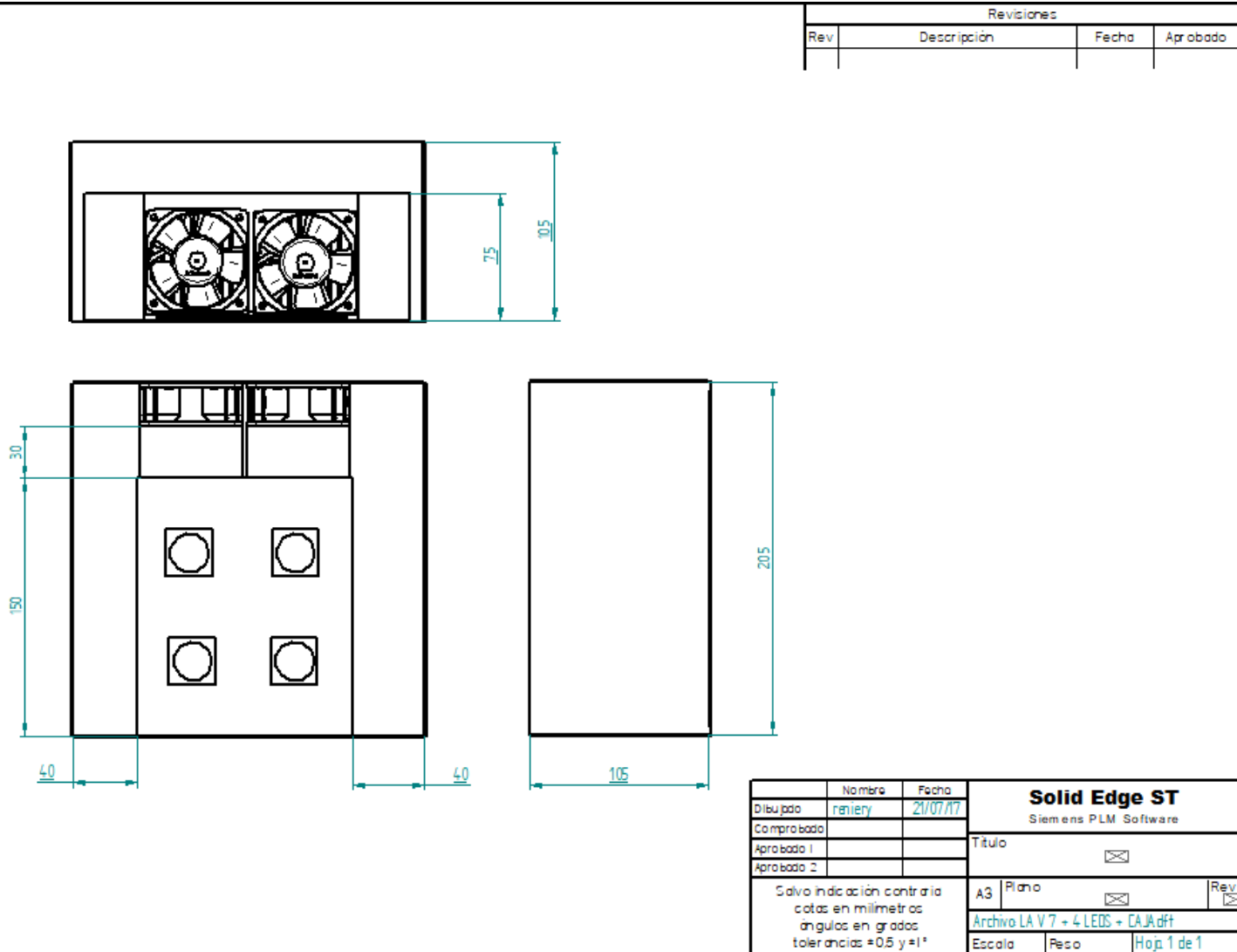


Figura 107: Planos y dimensiones de la opción de montaje 6

Tabla resumen:

OPCIONES	DISIPADOR	CAJA	Nº LEDS	Coste total (Caja + Disipador)
1	LA V 8 (205x188x74)	Caja205x205x105 (31040115)	6	517.48€
2	LA 8 (125x188x74)	Caja205x205x105 (31040115)	4	635.40€
3	LA V 8 (155x188x74)	Caja205x205x105 (31040115)	4	702.84€
4	LA 7 (175x125x74)	Caja175x155x75 (31040113)	3	666.44€
5	LA V 7 (155x125x74)	Caja175x155x75 (31040113)	3	664.68€
6	LA V 7 (205x125x74)	Caja205x205x105 (31040115)	4	560.19€

Tabla 9: Tabla resumen de las distintas opciones de montaje

#### 4.3 SOPORTE COMPLETO

Vistas las anteriores opciones de montaje de disipador + caja faltaría analizar el diseño del soporte completo, se consideran un par de diseños que fueron los más adecuados y en base a ellos un presupuesto.

Comenzando por el material que se utilizara debido a que se busca un diseño sencillo, cuyo coste sea asumible sin descuidar los aspectos de refrigeración, montaje, solidez etc. Dado que se evalúan distintos puntos la idea de un soporte cerrado que dificultaría un buen tratamiento del flujo de calor se deshecho, con lo cual las premisas serian un importe económico bajo, calidad, que favorezca la refrigeración, solido, compacto, de fácil montaje y sencillo.

Teniendo en cuenta dichas premisas la opción de material más adecuado que cumplía con ellas era un perfil de aluminio tipo Nikai.



*Figura 108: Perfiles de aluminio*

Estos perfiles de aluminio además de ser ligeros presentan una enorme ventaja: su gran cantidad de accesorios propios para montar que garantiza la compatibilidad de las piezas (tornillos, tuercas, escuadras, elementos de sujeción...), lo cual reduce de manera muy significativa la complejidad del montaje. Estos perfiles están pensados de tal manera que cualquier pieza se adapte con firmeza permitiendo así mucha estabilidad y robustez, al ser de aluminio su peso deja de ser un problema.

Las dos opciones serían considerar un soporte con una sola columna principal, o bien con dos columnas, uno sería mucho más ágil y versátil y el otro un poco más robusto. El de dos columnas estaría pensado para el montaje completo de 12 COBs mientras que el de una sola columna vertical sería para realizar 2 montajes, de esta manera tener 2 focos totalmente independientes.

En la compra de los perfiles de aluminio desde el proveedor se indica que los cortes se pueden hacer a medida así se optimiza el transporte y se reduce el coste, es decir, la única labor sería el montaje optimizando así tiempo y coste.



#### 4.3.1 Soporte con una sola columna vertical

Está diseñado con la intención de montar 2 soportes de este tipo, de esta manera se consiguen dos focos totalmente independientes el uno del otro con la ventaja de que se puedan situar donde se desee. El soporte es regulable en altura y en inclinación del foco. Tiene una altura de 1.5m como prototipo, pero se puede hacer más alto si se necesita.

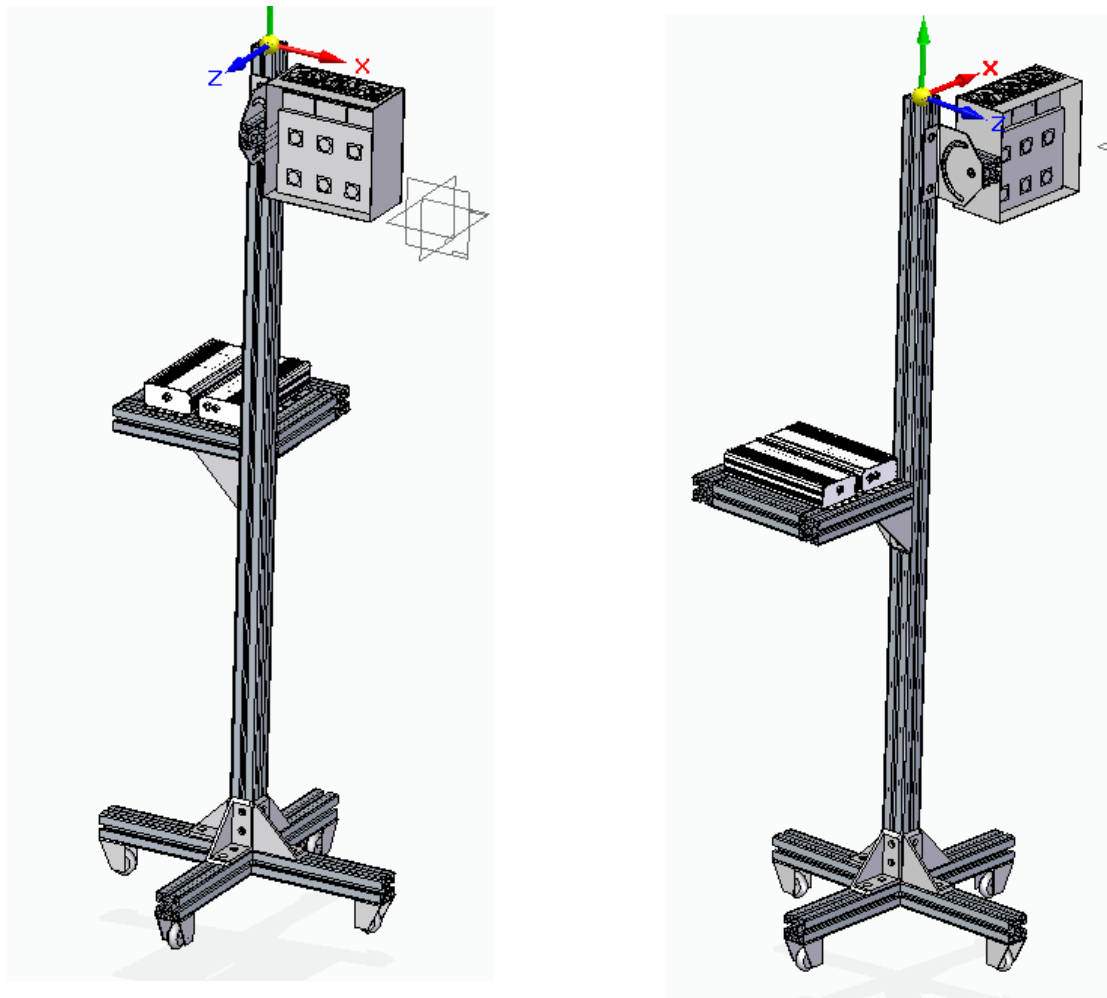


Figura 109: Soporte de 1 columna vertical

OPCIÓN 1	Datos	Unidades	Coste	Coste montaje 6 COBs
<b>Perfil aluminio 45L</b>	110.502 (cada barra 5.6m)	3.54m	82€/barra. (14.64€/m)	51.83€
<b>Escuadra</b>	121.310 (con tornillería)	8	5.90€/ud.	47.20€
<b>Ruedas giratorias</b>	122.111 (con tornillería)	4	20.25€/ud.	81€
<b>Fijación orientable</b>	150.120	1	5.75€/ud.	5.75€
<b>Tornillería</b>	Tornillos cabeza de martillo	10	8.40€/10 ud.	8.40€
<b>Coste total</b>	194.18€			

Tabla 10: Coste de la opción de soporte 1

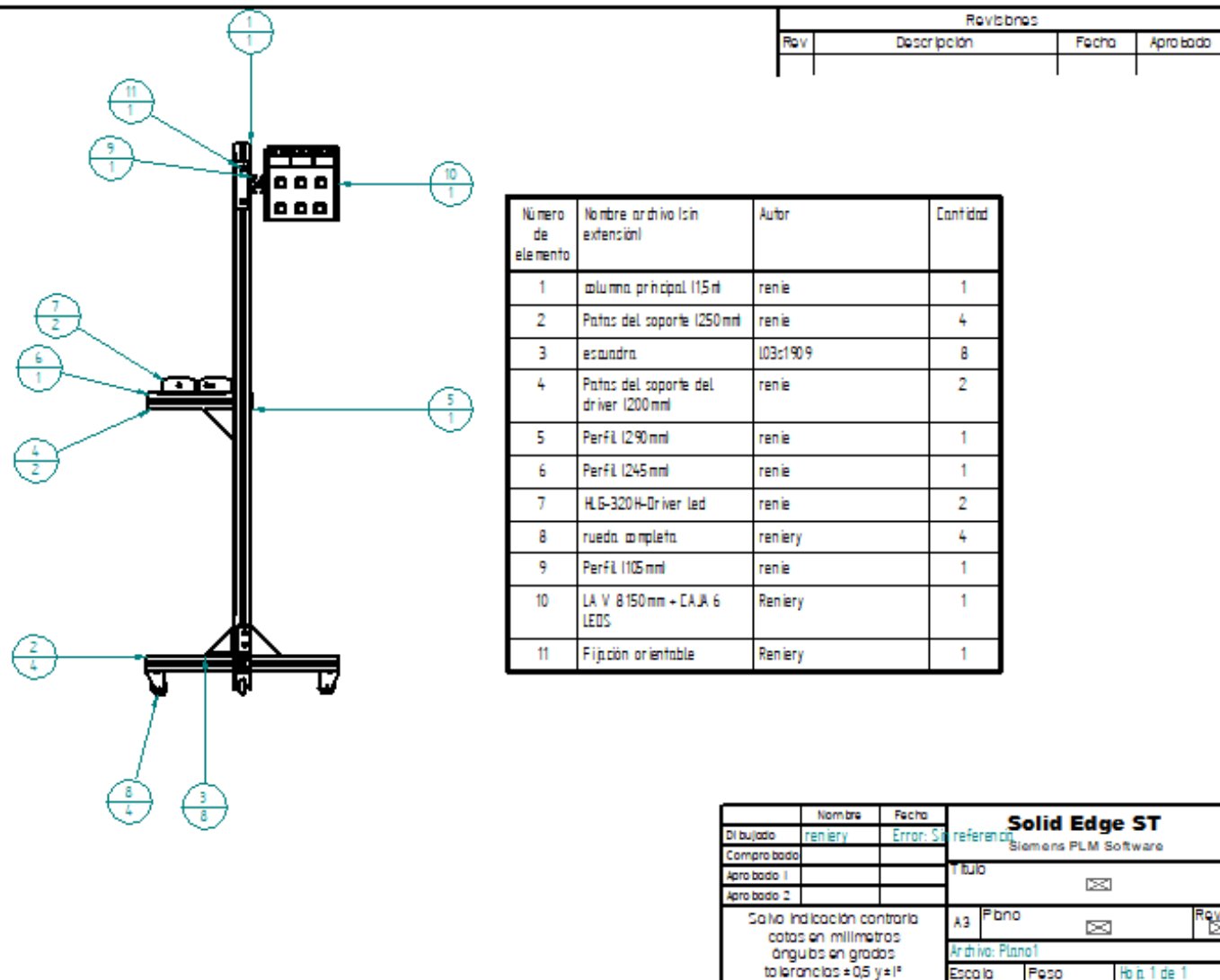


Figura 110: Elementos que componen la opción de soporte 1

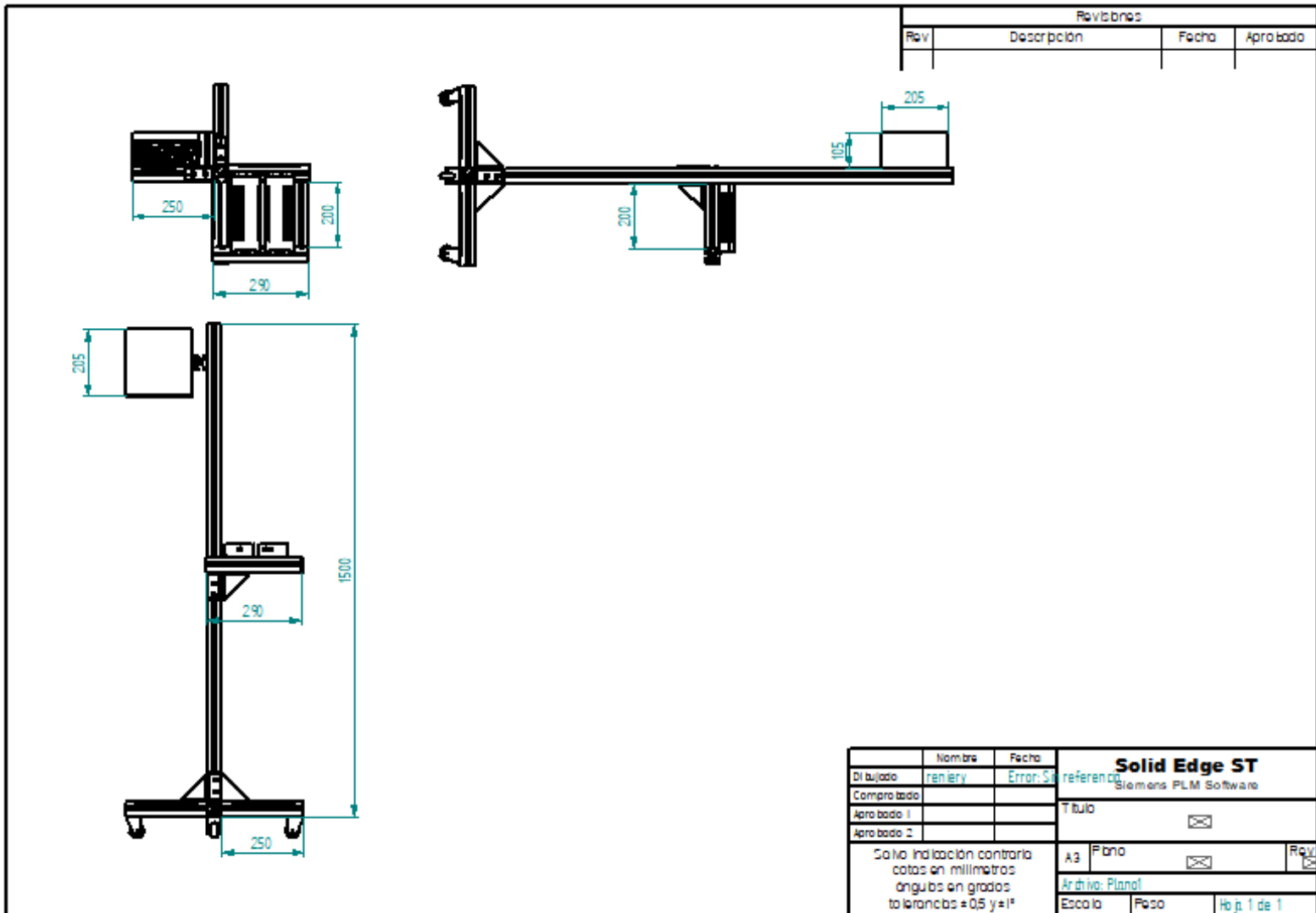


Figura 111: Planos y dimensiones de la opción de soporte 1

#### 4.3.2 Soporte con 2 columnas

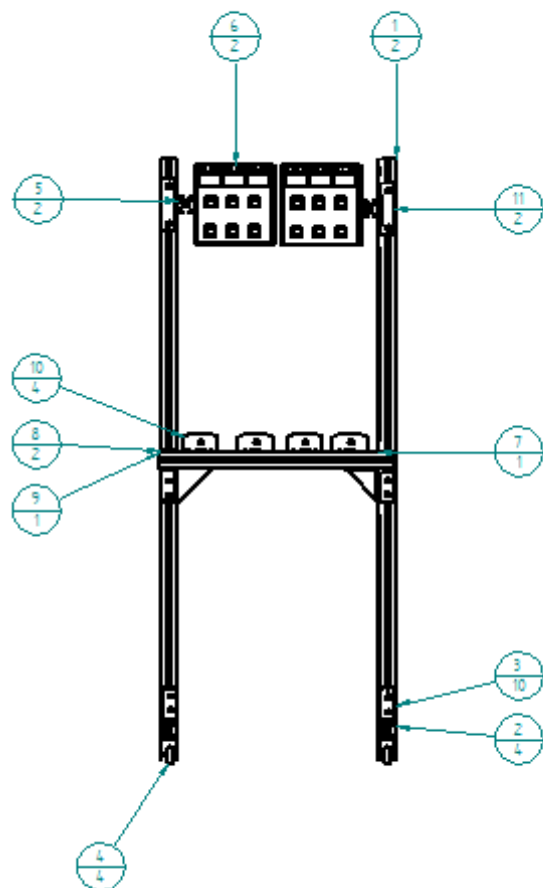
Este diseño está pensado para montar los 12 COBs de manera conjunta, se pierde versatilidad a la hora de colocarlo ya que los 2 focos estarían juntos y no se podría concentrar tanto la luz en el punto deseado, la ventaja es que en la totalidad del proyecto su precio es menor.



Figura 112: Soporte de 2 columnas verticales

OPCIÓN 2	Datos	Unidades	Coste	Coste montaje 12 COBs
Perfil aluminio 45L	110.502 (cada barra 5.6m)	5.74m	82€/barra. (14.64€/m)	84.05€
Escuadra	121.310 (con tornillería)	10	5.90€/ud.	59€
Ruedas giratorias	122.111 (con tornillería)	4	20.25€/ud.	81€
Fijación orientable	150.120	2	5.75€/ud.	11.5€
Tornillería	Tornillos cabeza de martillo	15	8.40€/10 ud.	12.60€
<b>Coste total</b>	<b>248.15€</b>			

Tabla 11: Coste de la opción de soporte 2



Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	columna principal (15 ml)	renier	2
2	Patas del soporte (250mm)	renier	4
3	escuadra	103:1909	10
4	rueda completa	renier	4
5	Perfil (110mm)	renier	2
6	LA V 8 150mm + CAJA 6 LEDS	Renier	2
7	Perfil (520mm)	renier	1
8	Patas del soporte del driver (200mm)	renier	2
9	Perfil (610mm)	renier	1
10	HLS-320H-Driver led	renier	4
11	Fijación orientable	Renier	2

Nombre	Fecha	Rev
Dibujado: renier	Error: Si	referencia
Comprobado:		
Aprobado 1:		
Aprobado 2:		
No hay indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		
Solid Edge ST Siemens PLM Software		Rev
Título		Escal
A3 Plano		Hoja 1 de 1

Figura 113: Elementos que componen la opción de soporte 2

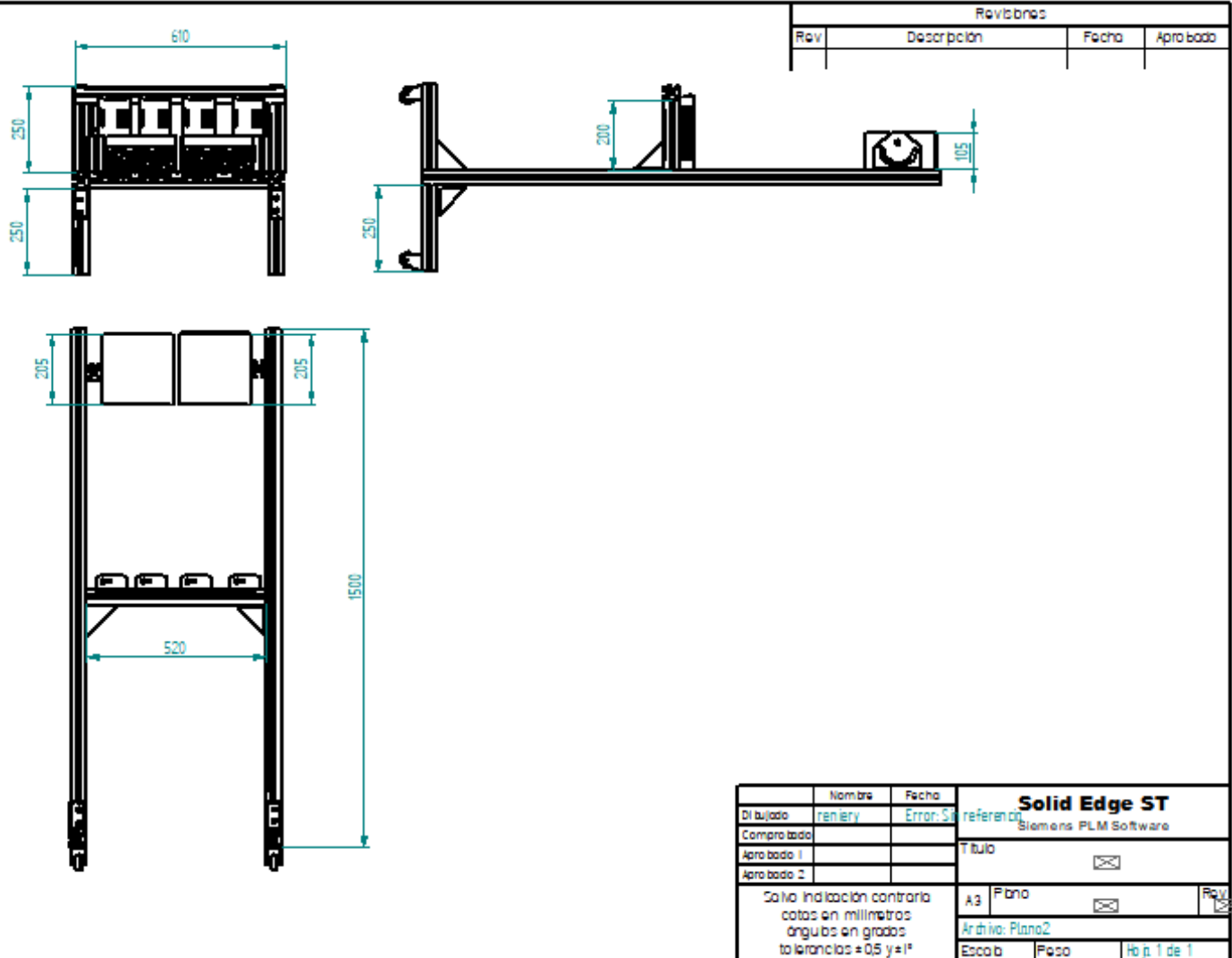


Figura 114: Planos y dimensiones de la opción de soporte 2

#### 4.3.3 Soporte de columna vertical y adosamiento de las fuentes

Este diseño es una pequeña variación de la opción primera apartado 4.3.1 en el cual se presenta el mismo soporte con la variación de la forma en la cual sostener las fuentes o driver LEDs. Esta variación presenta la diferencia de sujetar los drivers LEDs directamente a la columna vertical principal, es decir, se ahora en material y se centra el peso, esto conlleva un aumento de la estabilidad y mantener el centro de gravedad óptimo.

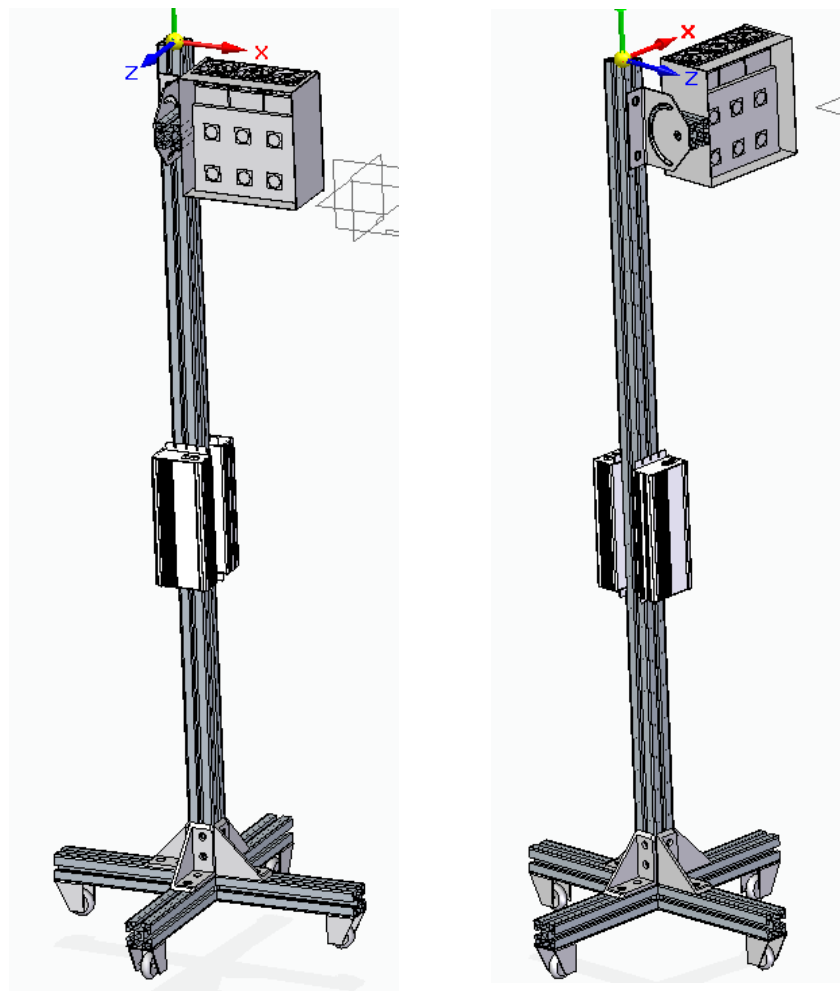
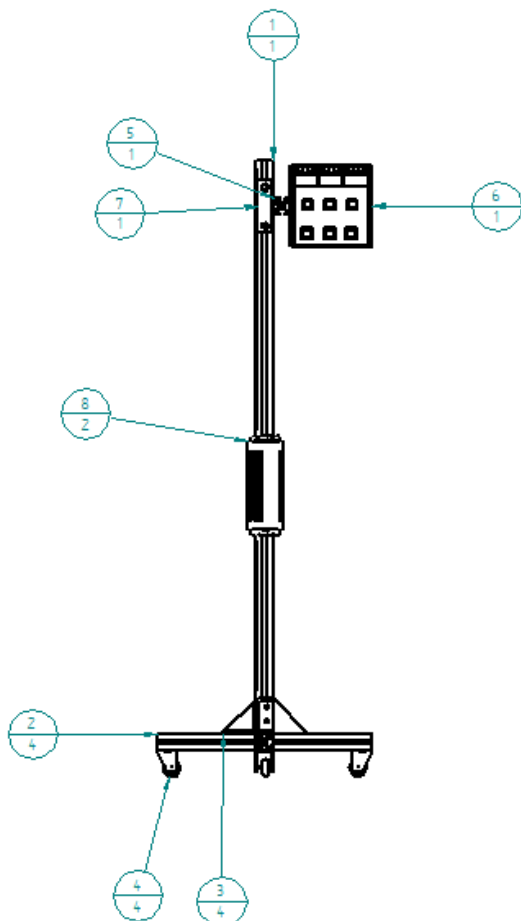


Figura 115: soporte de una columna y drivers adosados

OPCIÓN 3	Datos	Unidades	Coste	Coste montaje 12 COBs
<b>Perfil aluminio 45L</b>	110.502 (cada barra 5.6m)	2.6m	82€/barra. (14.64€/m)	38.13€
<b>Escuadra</b>	121.310 (con tornillería)	4	5.90€/ud.	23.6€
<b>Ruedas giratorias</b>	122.111 (con tornillería)	4	20.25€/ud.	81€
<b>Fijación orientable</b>	150.120	1	5.75€/ud.	5.75€
<b>Tornillería</b>	Tornillos cabeza de martillo	10	8.40€/10 ud.	8.40€
<b>Coste total</b>	156.88€			

Tabla 12: Coste de la opción de soporte 3



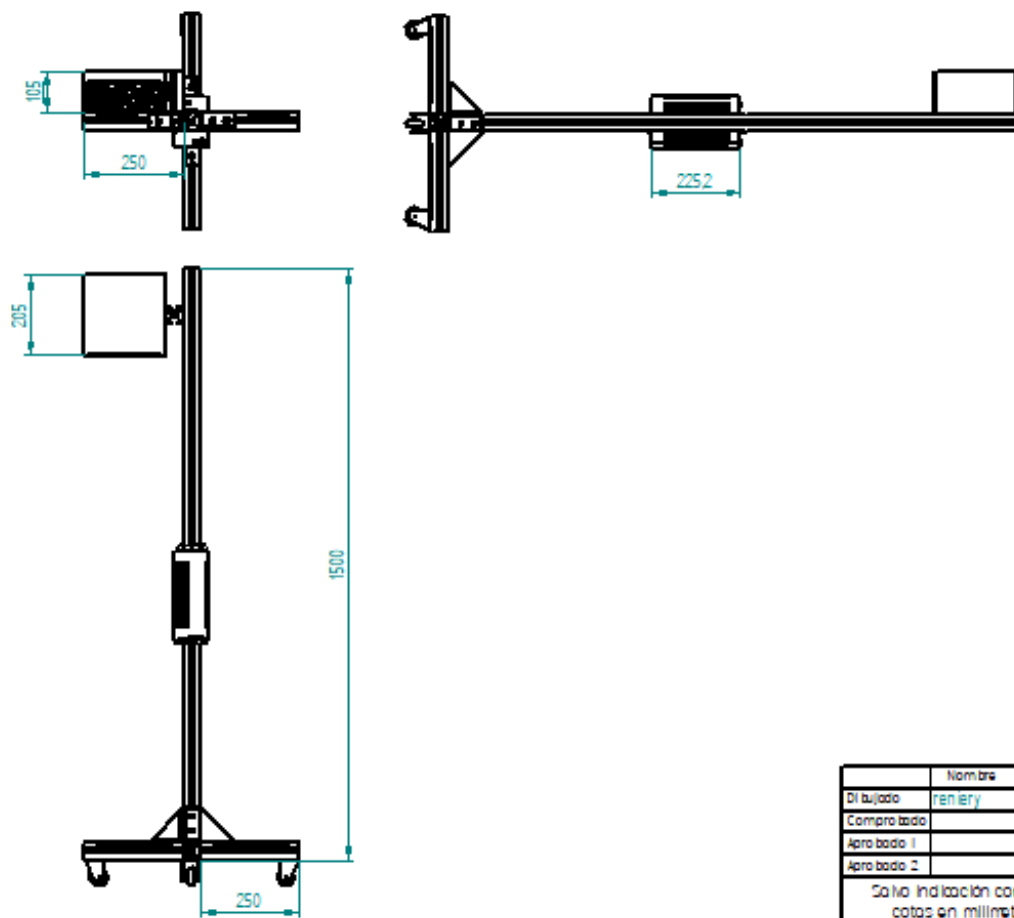
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	columna principal (15m)	renie	1
2	Patas del soporte (250mm)	renie	4
3	escuadra	LO3:1909	4
4	rueda completa	reniery	4
5	Perfil (105mm)	renie	1
6	LA V 8-150mm + CAJA 6 LEDs	Reniery	1
7	Fijación orientable	Reniery	1
8	HLG-320H-Driver Led	renie	2

Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado: reniery	Error: Sin	Siemens PLM Software	
Comprobado:		Título	
Aprobado 1:		A3 Plano	
Aprobado 2:		Archivo: Plan 01	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1*		Escala	Peso

Figura 116: Elementos que componen la opción de soporte 3





Revisión			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Nombre	Fecha	<b>Solid Edge ST</b>	
Dibujado: renier	Error: 50	Siemens PLM Software	
Comprobado		Título	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		A3 Plano	Rev 1
		Archivo: Plano2	
Escala	Peso	Hoja 1 de 1	

Figura 117: Planos y dimensiones de la opción de soporte 3

Tabla resumen:

Diseño	Coste montaje	Coste montaje 12 COBs
<b>Opción 1</b>	194.18€	388.36€
<b>Opción 2</b>	248.15€	248.15€
<b>Opción 3</b>	156.88€	313.76€

Tabla 13: Tabla resumen de las opciones de soportes

#### 4.3.4 ELECCIÓN DEFINITIVA DE DISEÑO

Finalmente, la elección de disipador y soporte se hizo teniendo en cuenta varios aspectos de prestación, montaje, coste etc.

El disipador seleccionado fue el modelo LA V 8 (150mm) por las siguientes razones:

1. El modelo debido a sus prestaciones permitía montar 6 LEDs COB simplificando de esta manera el montaje, ya que no habría que añadir tantos disipadores para la totalidad del proyecto.
2. Su coste era el más económico de todas las opciones.
3. Al montarse 6 LEDs habría que colocar 2 drivers por cada disipador, las fuentes que se probaron eran las que permitían montar 3 LEDs por driver, de esta manera no habría que cambiar de fuente a una de 400W como en otras opciones en las que se montaban 4 LEDs por disipador.
4. Su longitud encajaba de manera muy ajustada con una de las cajas disponibles.
5. Disminución de coste en mecanización de la caja.
6. Disponer de cámara de flujo de aire le proporcionaba una reducción considerable de la resistencia térmica, sin embargo, su coste seguía siendo menor que las otras opciones, y deja un margen de seguridad mayor.

La elección del soporte fue la opción 3 por las siguientes razones:

1. La variante de soporte de una sola columna lo hace más ágil que la opción de 2 columnas y le proporciona más movilidad.
2. A pesar de ser muy similar a la opción 2, reducir en material para colocar los drivers sin que este sea imprescindible suponía un ahorro en material de 30€, y su correspondiente ahorro de tiempo en montaje.
3. Para la totalidad del proyecto de 12 LEDs, el hecho de contar con 2 focos independientes hacía de esta opción la más atractiva.
4. Era la opción con el coste económico menor.

## 5. PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO

Una vez visto lo anterior se puede hacer una aproximación bastante ajustada de lo que sería el presupuesto total del proyecto, incluyendo driver leds y convertidores necesarios para el montaje de los disipadores.

Presupuesto común independiente de la elección de montaje:

Artículos comunes	Datos	Unidades	Coste	Coste montaje 12 COBs
<b>Led COB</b>	(ED-768) 2PHMA2CW27P29013-503	12	12.49€/ud.	149.88€
<b>Driver LED</b>	(MW-4417) HLG-320H-C2800A	4	78.90€/ud.	315.60€
<b>Convertidor alimentador ventilador</b>	GS18E24-P1J	2	10.40€/ud.	20.80€
<b>Cables y accesorios</b>	-	-	-	10€
<b>Coste total eléctrico</b>	496.28€			

Tabla 14: Coste en elementos eléctricos asociados a los montajes

Coste total del proyecto (12 Leds) sin incluir el soporte que se elija:

Opciones	Disipador	Caja	Coste (Caja + Disipador)	Coste total
<b>1</b>	LA V 8 (205x188x74)	Caja205x205x105 (31040115)	517.48€	1013.76€
<b>2</b>	LA 8 (125x188x74)	Caja205x205x105 (31040115)	635.40€	1131.68€
<b>3</b>	LA V 8 (155x188x74)	Caja205x205x105 (31040115)	702.84€	1199.12€
<b>4</b>	LA 7 (175x125x74)	Caja175x155x75 (31040113)	666.44€	1162.72€
<b>5</b>	LA V 7 (155x125x74)	Caja175x155x75 (31040113)	664.68€	1160.96€
<b>6</b>	LA V 7 (205x125x74)	Caja205x205x105 (31040115)	560.19€	1056.47€

Tabla 15: Coste total sin incluir el soporte

Coste de personal involucrado en el desarrollo del proyecto:

Personas	Horas	Coste
<b>Técnicos de taller</b>	4	120€
<b>Autor del proyecto</b>	390	1650€
<b>Tutores</b>	20	800€
<b>Asesoramiento del proyecto</b>	5	40€

Tabla 16: Coste de personal

## 5.1 VIABILIDAD DEL PROYECTO

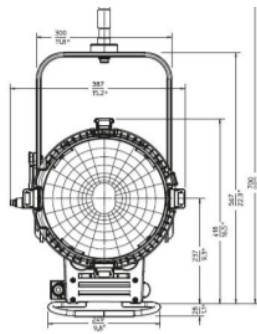
Se valora que en condiciones normales los LEDs elegidos en el proyecto funcionaran según el test de uso en torno a 6000h cómo se puede ver en la **fig xxx**

NO .	Test Item	Test Condition	Remark
1	Temperature Cycle	-40°C~100°C ( 30 mins / 30 mins )	100 Cycle
2	Thermal Shock	-40°C~100°C (15,min/15 mins 10 sec)	100 Cycle
3	High-Temperature Storage	Ta=100°C	1000 hrs
4	Humidity Heat Storage	Ta=85°C, RH=85%	500 hrs
5	Low-Temperature Storage	Ta= -40°C	1000 hrs
6	Operation Life test	25°C	6000 hrs
7	High Temperature Operation Life test	85°C	1000 hrs
8	ON/OFF Test	30 sec ON, 30 sec OFF	1.5W times

Figura 118: Tiempo de uso de los LEDs [8]

Teniendo en cuenta el foco actual del modelo ya comentado, Arrisun HMI 1800W, se puede hacer una estimación bastante ajustada para valorar la inversión del proyecto, para ello se compara la vida útil que tendría un chip LED con el foco actual en cuestión.

El foco arrisun como se explicó con anterioridad es de arco voltaico y su lampara base es un modelo G38, este tipo de lampara no presenta la misma vida útil de un LED COB, sino que es notablemente menor.



L2.75600.C	Head-to-Ballast cable, 575/800/1200/1800 W, 15 m, intern. connector (VEAM)
<b>Lamps</b>	
L2.0003885	Lamp DIS 1200 W/SE G38 UV-B (Koto)
L2.89254L0	Lamp HMI 1200 W/SE G38 Longlife UV (Osram)
L2.0003884	Lamp DIS 1800 W/SE G38 (Koto)
L2.37590.0	Lamp HMI 1800 W/SE G38 UV (Osram)
<b>Specifications</b>	
Reflector	MAX Technology® reflector made of high purity aluminium
Mounting	Spigot 28 mm / 1/8" (1.1")
Dimensions	387 x 388 x 567 mm / 15.2 x 15.3 x 22.3 inches (W x L x H)
Packed size	510 x 555 x 530 mm / 20.1 x 21.9 x 20.9 inches (W x L x H)

Figura 119: Tipo de lámpara del foco Arrisun [17]

De las especificaciones técnicas de la lampara G38 obtenemos el dato de su vida útil

-HMI 1800W/SE XS 140V – 1800W, base G38, vida útil 750 hs.

Figura 120: Vida útil de la lampara G38 [18]

Esto implica que para llegar a la vida útil del chip LED se deben realizar 8 recambios, siendo su coste de 214.47€ [18]

Artículo	Unidades	Coste de adquisición	Coste de montaje	Coste operativo
Foco Arrisun HMI 1800	2	1668.00€/ud.	10€/ud.	1253.34€/ud.
Soporte	2	125€/ud.	15€/ud.	-
Lámpara	8 recambios	214.47	5€/ud.	-
Coste total	7858.44€			

Tabla 17: Coste del foco actual

Para el cálculo del coste operativo se realiza la siguiente operación:

Potencia = 1800W; Horas de uso = 6000h ; Coste energético = 0.11605€/Kwh

$$\text{Coste operativo} = 1.8Kw * 6000h * \frac{0.11605\text{€}}{Kwh} = 1253.34\text{€}$$

En lo que al coste del proyecto con LEDs en total se refiere tenemos lo siguiente:

Artículos	Datos	Unidades	Coste	Coste montaje 12 COBs
<b>Led COB</b>	(ED-768) 2PHMA2CW27P29013-503	12	12.49€/ud.	149.88€
<b>Driver LED</b>	(MW-4417) HLG-320H-C2800A	4	78.90€/ud.	315.60€
<b>Convertidor alimentador ventilador</b>	GS18E24-P1J	2	10.40€/ud.	20.80€
<b>Cables y accesorios</b>	-	-	-	10€
<b>Disipador térmico + caja</b>	LA V 8 + Caja 205x205x105	2	517.48€/2 ud.	517.48€
<b>Soporte</b>	Opción 3: Soporte de una columna vertical con drivers adosados	2	156.88€	313.76€
<b>Coste de montaje total</b>	200€			
<b>Coste operativo total</b>	835.56€			
<b>Coste total</b>	2363.08€			

Tabla 18: Coste total del proyecto

Coste operativo de los LEDs:

*Potencia = 1200W; Horas de uso = 6000h; Coste energético = 0.11605€/Kwh*

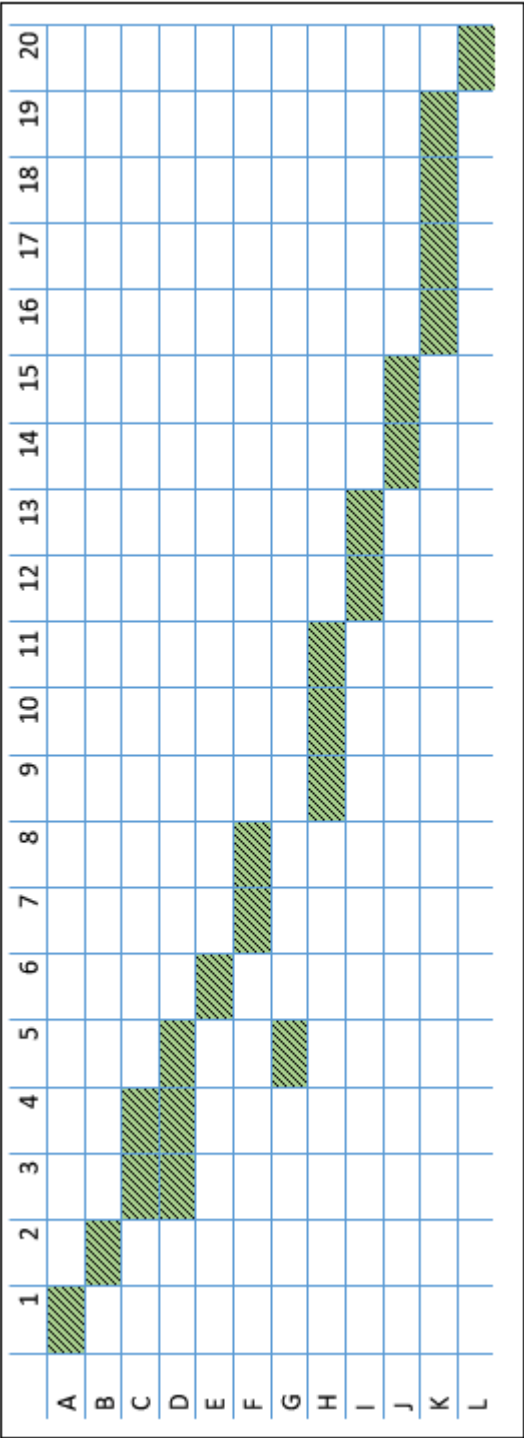
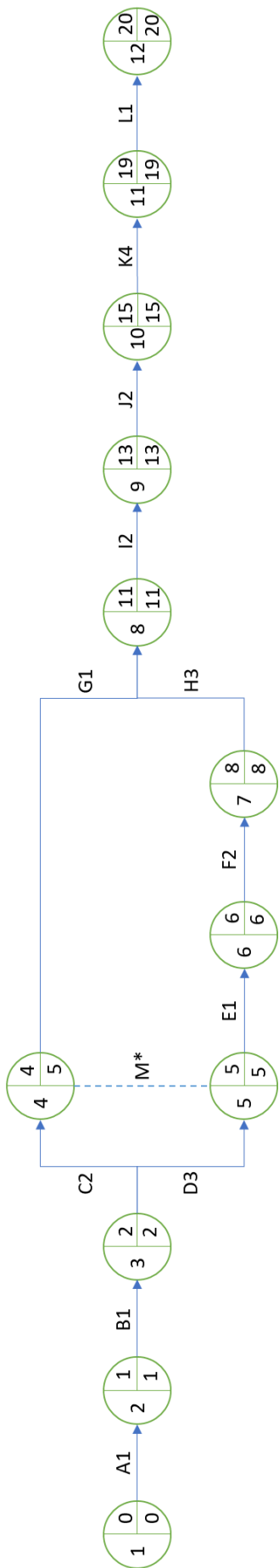
$$\text{Coste operativo} = 1.2Kw * 6000h * \frac{0.11605€}{Kwh} = 835.56€$$

En vista de lo anterior se puede ver claramente un ahorro muy notable considerando ambas opciones, ya no solo en cuanto al factor económico se refiere, sino que también en calidad de luz y mayor prevención de riesgos laborales.

## 6. DIAGRAMA PERT Y GANTT DEL PROYECTO

Actividades	Descripción	Duración aprox. (semana)
<b>A</b>	Búsqueda de solución/alternativa	1
<b>B</b>	Prueba y ensayo de la solución	1
<b>C</b>	Diseño del circuito eléctrico	2
<b>D</b>	Diseño de la gestión térmica	3
<b>E</b>	Comprobación	1
<b>F</b>	Búsqueda de cajas de alojamiento	2
<b>G</b>	Diseño de colocación de elementos eléctricos	1
<b>H</b>	Diseño de colocación de elementos térmicos	3
<b>I</b>	Valoración de alternativas de diseños	2
<b>J</b>	Búsqueda de proveedores definitivos	2
<b>K</b>	Realización de pedidos y espera de entregas	4
<b>L</b>	Montaje final y comprobación	1
<b>M*</b>	Actividad ficticia que indica que el diseño del circuito eléctrico es precedente a la comprobación del prototipo.	-

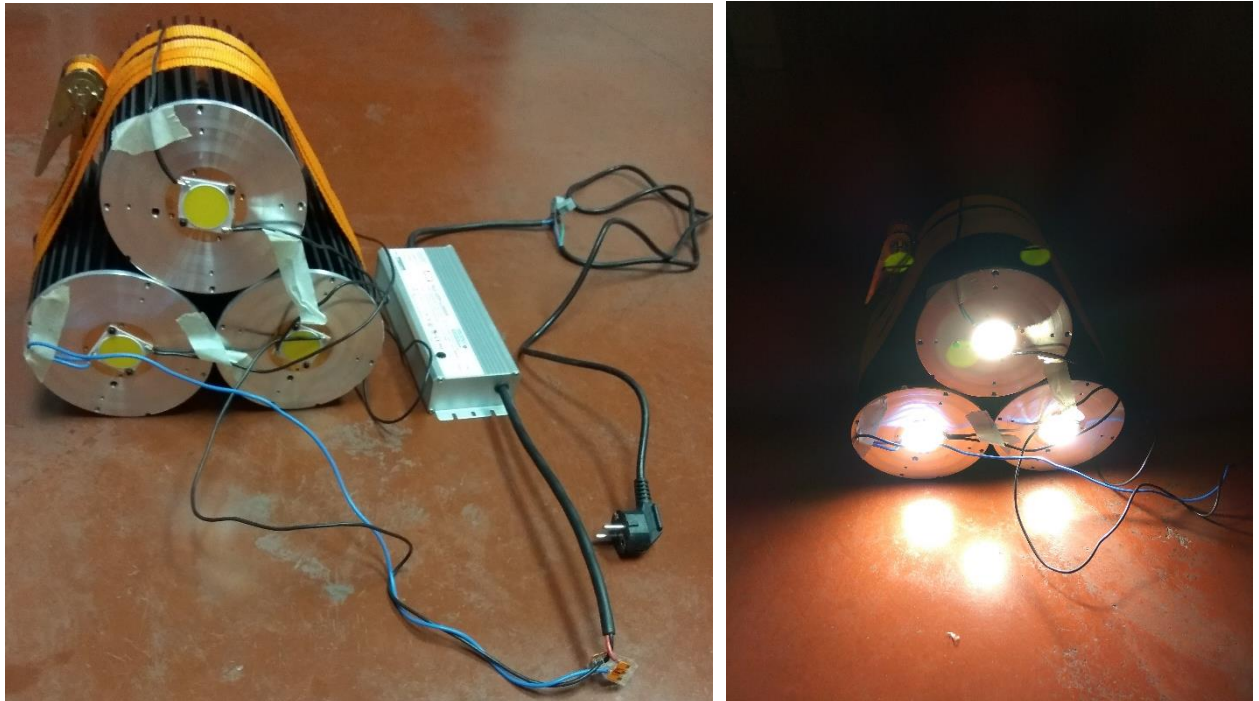
Estados	Descripción
<b>1</b>	Planteamiento del problema
<b>2</b>	Alternativa encontrada
<b>3</b>	Aprobación de la alternativa
<b>4</b>	Circuito eléctrico diseñado
<b>5</b>	Gestión térmica diseñada
<b>6</b>	Comprobación correcta de ambas líneas de diseño
<b>7</b>	Determinación de alternativas de cajas
<b>8</b>	Obtención de las distintas opciones de soporte y cajas posibles
<b>9</b>	Diseño definitivo elegido
<b>10</b>	Listado de materiales y elementos
<b>11</b>	Llegada de materiales necesarios
<b>12</b>	Finalización del foco





## 7. PROTOTIPO FINAL

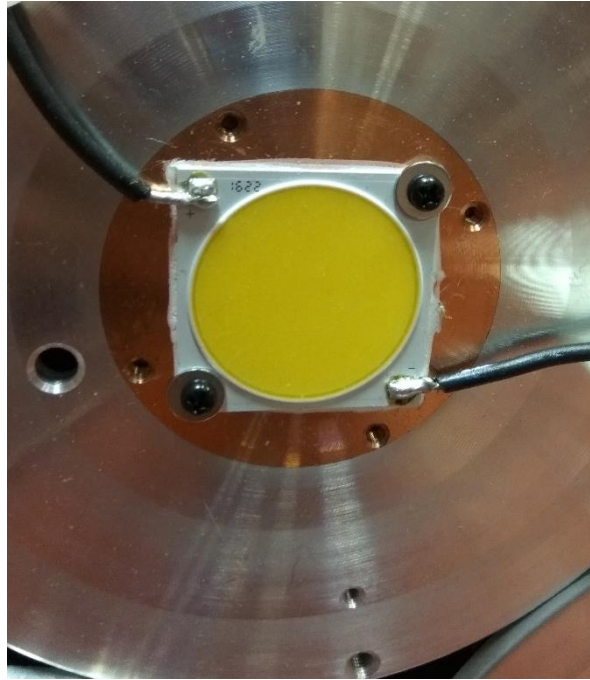
La obtención de buenos resultados en los ensayos ha dejado un prototipo final montado sobre disipadores modulares que marca las líneas básicas del diseño final del foco sobre todo en lo que a montaje eléctrico se refiere, así como la comprobación de que esta tecnología es una opción eficaz en el objetivo del proyecto.



*Figura 122: Montaje eléctrico sencillo del prototipo y funcionamiento*



*Figura 121: Encendido de 3 LEDs COB de 100W cada uno*



*Figura 123: Instalación directa del chip LED con pasta térmica específica sobre la placa de cobre*

NOTA: Al término de la realización de esta memoria el foco no se encontraba construido en su totalidad debido al retraso de entrega de algunos componentes, de ahí que no haya imágenes disponibles. No obstante, para la fecha de presentación si se cumple el plazo de entrega estará ya disponible.



## 8. CONCLUSIONES

Posteriormente a la realización del proyecto se pueden hacer ciertas aclaraciones sobre el objetivo del mismo. Se ha demostrado que la tecnología LED y más en concreto los chips son una opción viable en el desarrollo de la iluminación ya no solo en la investigación como es este caso, sino también para un uso cotidiano. Su ahorro energético y económico lo hacen muy atractivos para su desarrollo en el mercado.

Un diseño sencillo, la utilización por parte de los usuarios de componentes habituales, la búsqueda de asesoramiento entre personas con experiencia en la rama ha ayudado a concluir este foco con la línea de proyecto que se marcó desde sus inicios: concentrar el esfuerzo en la búsqueda y análisis de mercado para obtener un coste bajo sin descuidar su funcionalidad. A pesar de haber estudios en este campo pocos son los diseños para una instalación exigente como es el caso, por ello, marcadas estas primeras líneas en la investigación de un foco con chips LEDs, teniendo esta base se puede centrar más el esfuerzo en las características técnicas de los LEDs, drivers y disipadores para conseguir una mayor eficacia en el mismo.

Se ha conseguido optimizar una instalación la cual presentaba ciertos problemas, además de costes añadidos que se podrían invertir de mejor manera garantizando un uso eficiente del mismo, una inversión altamente rentable, mayor seguridad en la labor, ayuda a la investigación científica y generación de una posible vía de mejora en dicho proyecto.

## Bibliografía

- [1] E. Braun, Una Faceta Desconocida de Einstein, vol. 2, FCE, 1997.
- [2] V. B. L., Para atrapar un fotón, 2, abreviada ed., Fondo De Cultura Economica USA, 2000, 1992.
- [3] J. A. E. G. Álvarez, «Así Funciona,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.asifunciona.com>. [Último acceso: 14 junio 2017].
- [4] T. L. Floyd, Dispositivos Electrónicos, 8ª ed., Naupalcan de Juárez (México): Pearson Prentice Hall, 2008.
- [5] Mean Well, «HLG-320H-C-SPEC,» 2016.
- [6] E. Nieto, «Fidestec Academia de Reparación,» 1 1 2017. [En línea]. Available: <https://fidestec.com/blog/fuentes-de-alimentacion-conmutadas-01/>. [Último acceso: 10 julio 2017].
- [7] A. P. Masa, «Tecnología obsoleta,» 1 1 2010. [En línea]. Available: <http://www.alpoma.net/tecob/?p=723>. [Último acceso: 06 septiembre 2017].
- [8] Edison Opto Corporation, «Edi Power III HM Series High power Datasheet,» 2015.
- [9] ebm-papst (Fisher Elektronik), «Operating manual 614 NHH-119,» St. Georgen, 2012.
- [10] Electrónica Olfer, «Electrónica Olfer,» 1 1 2017. [En línea]. Available: <http://www.olfer.com/>. [Último acceso: agosto 2017].
- [11] LED Box News, «Gestión térmica en las luminarias LED,» *LED BOX*, 2017.
- [12] Virtual LEDs, «Virtual LEDs,» 1 1 2015. [En línea]. Available: <http://www.virtualleds.com>. [Último acceso: 23 junio 2017].
- [13] Fisher Elektronik, «Cooling aggregates with axial fan,» Lüdenscheid, 2017.
- [14] Electrónica Embajadores, «Electrónica Embajadores,» 1 1 2017. [En línea]. Available: <https://www.electronicaembajadores.com/es>. [Último acceso: 12 agosto 2017].
- [15] Retex Minibox (Electronica Embajadores), «Minibox,» 2017.
- [16] K. H. R. M. G. S. David L. DiLaura, The Lighting Handbook, 10 ed., Illuminating Engineering Society, 2011, p. 1328.
- [17] Arri, «Product Information Lightning,» Arnold & Richter Cine Technik, Munich, 2017.
- [18] Osram, «Get a Lamp,» 1 1 2017. [En línea]. Available: <https://www.getalamp.es>. [Último acceso: agosto 2017].



- [19] J. Pernas, «balloon explosion slow motion,» UC3M, Madrid, 2017.
- [20] Wikimedia Commons, «Wikimedia Commons,» 2017. [En línea]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transformer3d\\_col3.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transformer3d_col3.svg). [Último acceso: agosto 2017].

## 9. ANEXOS

### Operating manual

614 NHH-119



Product type, manufacturing date (calendar week/year of construction) and if required, conformity mark can be found on the nameplate on the product.  
Please provide us with the contents of the nameplate when making enquiries about the product.

ebm-papst St.Georgen GmbH & Co. KG  
Hermann-Papst-Straße 1  
D - 78112 St.Georgen

Phone: +49 (0) 7724 / 81-0  
Fax: +49 (0) 7724 / 81-1309

Info2@de.ebmpapst.com  
www.ebmpapst.com

As per: 15.08.2012  
Version 1.4  
Article number: 9292206119

Original operating manual

#### INDEX

1 SAFETY REGULATIONS AND INFORMATION	1
2 INTENDED USE	2
3 TECHNICAL DATA	3
4 CONNECTION AND COMMISSIONING	3
5 FAULTS, POSSIBLE CAUSES AND REMEDIES	4
6 APPROVALS	4

#### 1 SAFETY REGULATIONS AND INFORMATION

Read the operating manual carefully before commencing work at the product. Pay attention to the following warnings to avoid risk to persons or malfunctioning.  
This operating manual is an integral part of the product.  
In the event of resale or change of ownership the operating manual must accompany the product. This operating manual may be copied and provided as information on potential risks and their avoidance.

##### Hazard classification of warning notices

The following risk ratings are used in this operating manual to denote potential risk situations and important safety instructions:



##### DANGER

This is a potentially dangerous situation and warns of an impending health risk or risk of fatal injury if this warning is not observed. Observe this warning.

##### WARNING

The dangerous situation can occur and can result in major or fatal injuries if the warning is not observed. Work with extreme care.

##### CAUTION

The dangerous situation can occur and can result in minor injuries or damage to property if the warning is not observed.

##### NOTE

A potentially dangerous situation can occur and results in damage to property if not avoided.

##### Qualification of personnel

Only skilled electricians are permitted to install the product, to carry out the test run and to work at the electrical unit.

Only instructed and authorized skilled personnel are permitted to transport, unpack, operate and service the product.

##### Basic safety regulations

Safety risks related to the product must be reassessed after installing in the final device.

The operating manual was developed in accordance with European market requirements and may need adapting to the market requirements of the country in question.

When working at the product, observe the following:

Do not make any changes to the product.



##### WARNING

##### Impermissible high load

Stop the product immediately after impermissible loading (e.g. impact, heat, overvoltage).



- Exposure to radiation that can damage product components, e.g. strong UV rays or thermal radiation.
- Operating during external vibration.
- Operating the product close to inflammable materials or components.
- Operating the product in an explosive atmosphere
- Use of the product as a safety component or for performing safety-relevant functions.
- Operating in medical devices with life-sustaining or life-saving function.
- Operating in non-stationary systems, e.g. railway vehicles, aircraft and spacecraft.
- Operating with fully or partially dismantled or manipulated protective equipment.
- Operating the product under conditions other than those mentioned in the technical data.
- Furthermore, all fields of application not mentioned under Intended use.

An in situ assessment must be conducted of the heating behavior (appropriate and inappropriate operation), the protection against contact, electrical shocks, impact of foreign objects or water and the usage at altitudes higher than 2000 meters.

Contact ebm-papst if you have specific queries regarding the product.

### 3 TECHNICAL DATA

Drawing, see annex

#### Technical description

Airflow direction	Air outlet over struts
Rotational direction looking at rotor	clockwise
Nominal voltage	24,0 V
Current consumption	120 mA
Power consumption	2,9 W
Speed	6.850 1/min
Max. free-air flow	54,0 m³/h
Weight	0,066 kg
Protection class	III
Max. torque when mounted across both mounting flanges	wire outlet corner: 20 Nm remaining corners: 40 Nm
Screw size	ISO 4762 - M3 degreased, without an additional brace and without washer

The product is intended for use in sheltered rooms with controlled temperature and controlled humidity. Directly exposure to water must be avoided.

Pollution degree 1 (according DIN EN 60664-1)  
There is either no pollution or it occurs only dry, non-conductive pollution. The pollution has no negative impact.

#### Ambient conditions

Permitted ambient temperature	
Transport and storage	Operation
-40 °C ... 80 °C	-20 °C ... 70 °C

#### Vibration and shock load

##### At stationary operation:

sinus vibration	1,0 g; 5 - 500 Hz; 3 x 1 sweep (Resonance search run)
Noise	0,5 m2/s3, 10 - 50 Hz; +12 dB/oct f. 5 - 10 Hz; -12 dB/oct f. 50 - 100 Hz; 3 x 30 min
Repetitive shock	Half sine; 5 g, 11 ms; 6 x 100 shocks

##### Transport and storage:

Noise	2,0 m2/s3, 5 - 20 Hz; -3 dB/oct f. 20 - 500 Hz; 3 x 30 min
Thrusts	Half sine; 18 g, 6 ms; 6 x 100 shocks

Do not operate your product in the resonance range.

### 4 CONNECTION AND COMMISSIONING

#### Connect mechanical parts



**CAUTION**  
Risk of cutting/squashing when removing the product from the packaging and during mounting.

Grasp the housing and lift the product carefully out of the packaging. Avoid impact.  
Wear safety boots and cut-resistant gloves.



**NOTE**  
Risk of damage to electronic components.

Use ESD protective equipment when mounting.

#### Connect electrical parts

Connect to the mains after installation.



**DANGER**  
Compliance with the electrical installation regulations

Observe the connection regulations that are valid in your country. (e.g. fusing, GFCI)



**CAUTION**  
**Electrical voltage**  
The product is a built-in component and has no switch for disconnecting power.

Only connect the product to current circuits that can be switched off by a switch (all poles disconnected). When working on the product, secure the system/machine in which the product is installed against switching on again.

#### NOTE

Electromagnetic compatibility (EMC) may affect the system integration of the product due to interaction.

Ensure the electromagnetic compatibility of the entire system.





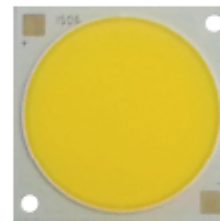


EdiPower® III Series

# EdiPower® III

## HM Series High Power

### Datasheet



#### Introduction :

Edison COB is a high uniformity array component which delivers high lumen output with excellent efficacy. Edison COB is optimized to simplify luminaire designs and lower the system cost. In addition, most of the Edison COB has passed the LM-80 verification. Edison COB combines the advantages of performance, reliability and ease-of-use in one LED. As for the applications, Edison COB can be widely used in general lighting such as spot light, down light, high bay, floodlight and PAR lamp.

#### Description :

- High efficacy chip on board solution
- Best luminous and color uniformity
- Enables halogen and CDM replacement
- The article itself presents the actual color.
- 4000K/5000K @145lm/W

#### Feature and Benefits :

- Based on the mirror aluminum MCPCB which excellent 98% reflectivity and High thermal conductivity. ( $k = 200 \text{ w/mK}$ )
- Low  $R_{th}$
- Meet the ErP specification (CRI>80 and R9>0)
- Excellent reliability
- 3 / 5 – step Macadam

Copyright © 2015 Edison Opto Corporation. All right reserved. The Information in this document is subject to change without notice.

version : 1

[www.edison-opto.com](http://www.edison-opto.com)

Anexo 2: Datasheet chip LED COB



## Table of Contents

General Information .....	3
Absolute Maximum Ratings .....	4
Luminous Flux Characteristic .....	4
Chromaticity coordinates( $T_c=85^\circ\text{C}$ ) .....	5
Mechanical Dimensions .....	6
Characteristic curve .....	7
Reliability .....	11
Product Packaging Information .....	12
Handling with a EdiPower® III Series .....	13
Revision History .....	16
About Edison Opto .....	16



## General Information

### Ordering Code Format

<u>2</u>	<u>P</u>	<u>HM</u>	<u>A x</u>	<u>x W</u>	<u>x x</u>	<u>P 2 x</u>	<u>x x x</u>		
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8		
X1		X2		X3		X4		X5	
Type		Component		Series		Wattage		Color	
2	Emitter	P	EdiPower*	HM	HM Series	A2	120W	CW	Cool White
						A5	150W	NW	Neutral White
X6		X7		X8					
Internal code		PCB Board		Serial Number					
-	-	P29	38x38(035.3)	-	-				



## Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings ( $T_c=25^{\circ}\text{C}$ )

Parameter	Symbol	Value	Units
Input Power	$P_i$	2PHMA2xW27P29013 : 123.9 2PHMA5xW27P29013 : 163.3	W
DC Forward Current <sup>1</sup>	$I_f$	2PHMA2xW27P29013 : 3200 2PHMA5xW27P29013 : 2800	mA
Min. Forward Current	Min. $I_f$	2PHMA2xW27P29013 : 120 2PHMA5xW27P29013 : 150	mA
Reverse Current <sup>2</sup>	$I_r$	1	mA
Operating Temperature	$T_{op}$	-40 ~ +85	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature	$T_{st}$	-40 ~ +100	$^{\circ}\text{C}$
LED junction Temperature <sup>3</sup>	$T_j$	125	$^{\circ}\text{C}$
Case Temperature	$T_c$	105	$^{\circ}\text{C}$
Thermal Resistance	$R_{jc}$	2PHMA2xW27P29013 : 0.41 2PHMA5xW27P29013 : 0.20	$^{\circ}\text{C/W}$

Notes:

1. DC forward current should not exceed LED's operating current; the current tolerance should be kept within a range of 5%.
2. LEDs are not designed to be driven in reverse bias.
3. Proper current derating must be observed to maintain junction temperature below the maximum at all time.
4. Refer to Outline drawing for  $T_c$  measurement point.
5. D.C. Current :  $T_j = T_c + R_{jc} \cdot P_i$

## Luminous Flux Characteristic

Order Code	CCT (K)	Luminous Flux(lm) $T_c=85^{\circ}\text{C}$		Luminous Flux(lm) $T_c=25^{\circ}\text{C}$		Efficacy (lm/W)	CRI Ra	CRI R9	Forward Voltage $V_f$ (V)			Forward Current (mA)
		Min.	Typ.	Min.	Typ.				Min.	Typ.	Max.	
2PHMA2NW27P29013	4000K	12350	14700	14200	16855	140	80	0	33.9	37.5	38.7	3200
2PHMA2CW27P29013	5000K	12350	14700	14200	16855	140			33.9	37.5	38.7	3200
2PHMA5NW27P29013	4000K	16500	19600	18900	22500	145			52.3	55.3	58.3	2800
2PHMA5CW27P29013	5000K	16500	19600	18900	22500	145			52.3	55.3	58.3	2800

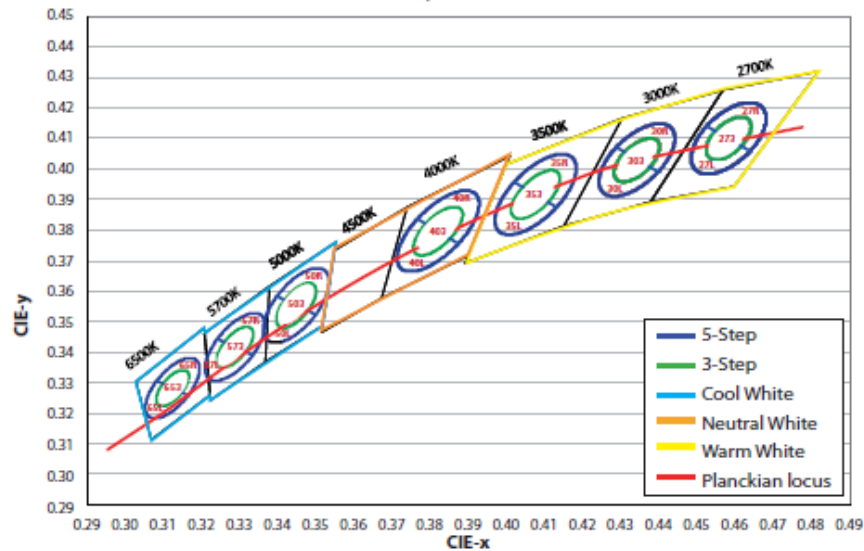
Notes :

1. Edison Opto Corp. maintains forward voltage  $\pm 3\%$ , luminous flux  $\pm 10\%$ , Ra and R9  $\pm 2$  tolerance.
2. Flux values @  $25^{\circ}\text{C}$  are calculated and for reference only.



### Chromaticity coordinates ( $T_c=85^\circ\text{C}$ )

Color region stay within Macadam "3-Step/5-step" ellipse from the chromaticity center.  
The chromaticity center refers to ANSI C78.377:2008.  
Please refer to ANSI C78.377 for the chromaticity center.



CCT	Steps	Cx	Cy	a	b	theta
2700K	5	0.4578	0.4101	0.01350	0.00700	53.70
3000K	5	0.4338	0.4030	0.01390	0.00680	53.22
3500K	5	0.4073	0.3917	0.01545	0.00690	54.00
4000K	5	0.3818	0.3797	0.01565	0.00670	53.72
5000K	5	0.3447	0.3553	0.01370	0.00590	59.62
5700K	5	0.3287	0.3417	0.01243	0.00533	59.09
6500K	5	0.3123	0.3282	0.01115	0.00475	58.57

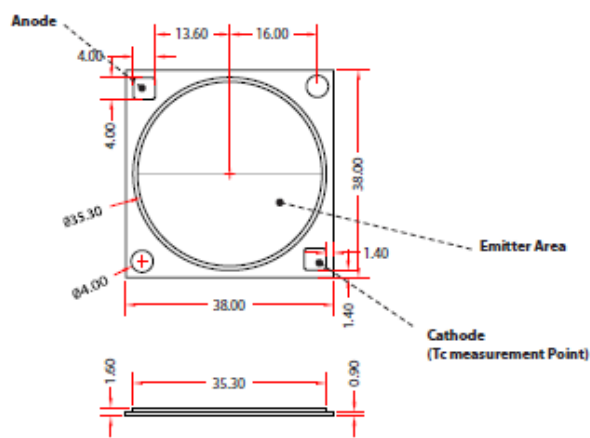
CCT	Steps	Cx	Cy	a	b	theta
2700K	3	0.4578	0.4101	0.00810	0.00420	53.70
3000K	3	0.4338	0.4030	0.00834	0.00408	53.22
3500K	3	0.4073	0.3917	0.00927	0.00414	54.00
4000K	3	0.3818	0.3797	0.00939	0.00402	53.72
5000K	3	0.3447	0.3553	0.00822	0.00354	59.62
5700K	3	0.3287	0.3417	0.00746	0.00320	59.09
6500K	3	0.3123	0.3282	0.00669	0.00285	58.57

Note: CIE<sub>xy</sub> tolerance:  $\pm 0.005$ .



## Mechanical Dimensions

### Emitter Dimensions



Notes :  
1. Unit : mm  
2. Tolerance :  $\pm 0.2$  mm

### Emitter Circuit Layout



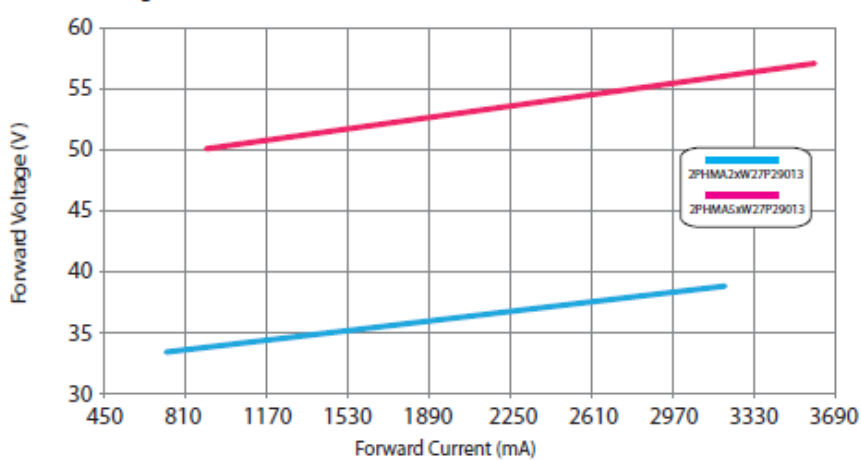
2PHMA2CW27P29013 Emitter Circuit Layout



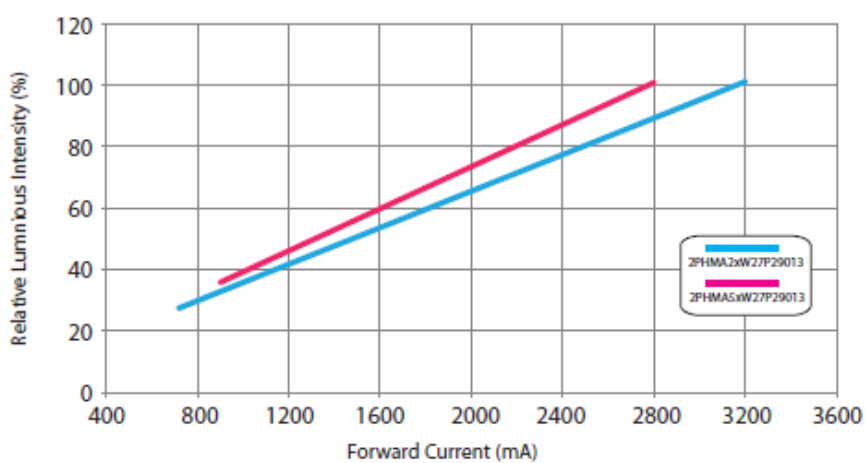
2PHMA5NW27P29013 Emitter Circuit Layout



**Forward Voltage vs. Forward Current**

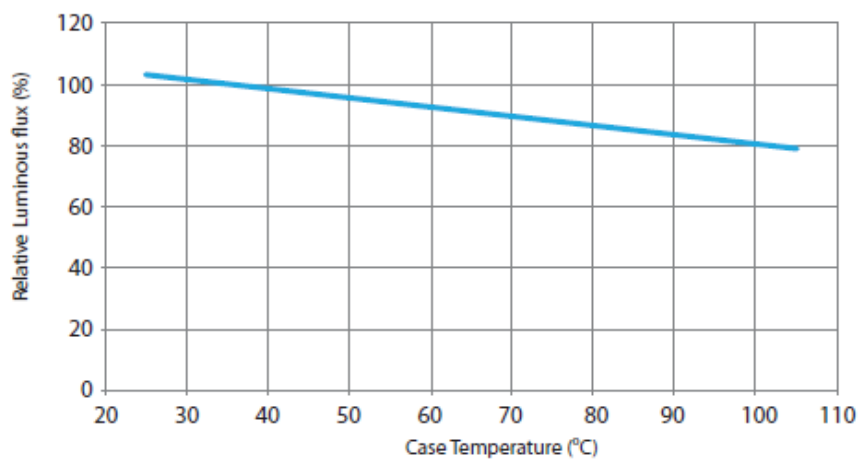


**Relative luminous Intensity vs. Forward Current**

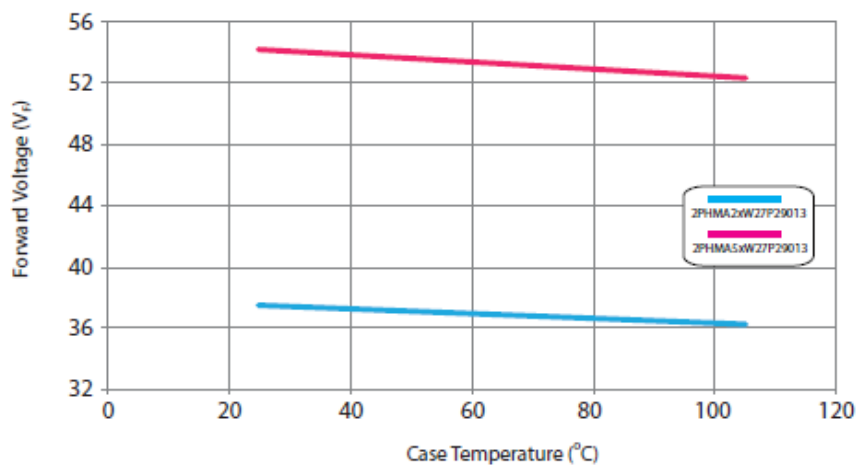




**Relative Luminous Flux vs. Case Temperature**



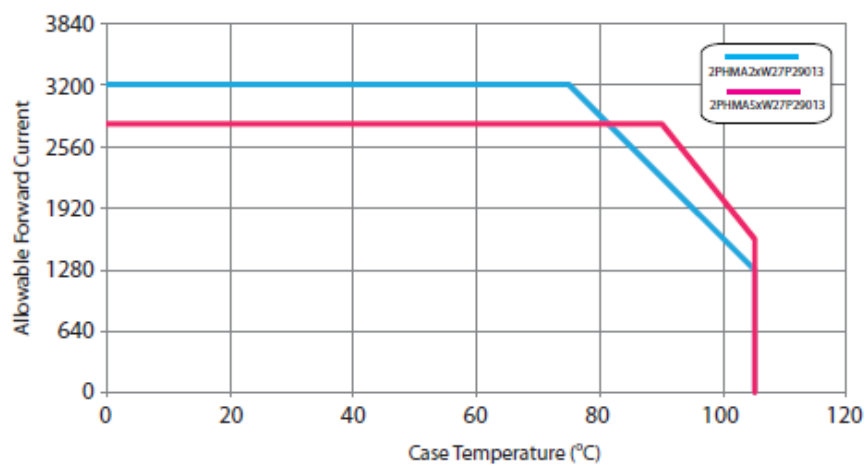
**Forward Voltage vs. Case Temperature**







**Allowable Forward Current vs. Case Temperature**





### Reliability

NO.	Test Item	Test Condition	Remark
1	Temperature Cycle	-40°C~100°C ( 30 mins / 30 mins )	100 Cycle
2	Thermal Shock	-40°C~100°C (15,min/15 mins 10 sec)	100 Cycle
3	High-Temperature Storage	Ta=100°C	1000 hrs
4	Humidity Heat Storage	Ta=85°C, RH=85%	500 hrs
5	Low-Temperature Storage	Ta= -40°C	1000 hrs
6	Operation Life test	25°C	6000 hrs
7	High Temperature Operation Life test	85°C	1000 hrs
8	ON/OFF Test	30 sec ON, 30 sec OFF	1.5W times

### Failure Criteria

Item	Criteria for Judgment	
	Min.	Max.
Lumen Maintenance	85%	-
$\Delta u/v$	-	0.006
Forward Voltage	-	Initial Data x 1.1
Reverse Current	-	1 $\mu$ A
Resistance to Soldering Heat	No dead lamps or visual damage	



## Thermal Management

About 80% of input power of a LED transform into heat. A high temperature operation condition always easily causes the LEDs to decrease of flux and the life decay of LED dies. The highest operation temperature of a component is able to be found in its datasheet which is indicated as  $T_j$ .

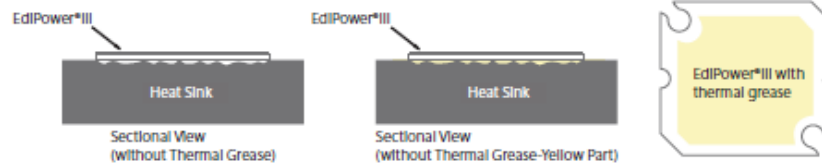
The power dissipation ability, the ambient temperature between the LED junction, environment, thermal path and its thermal resistance are the mean parameters which affect the performance of a LED device. Therefore, the limitation of the junction temperature has become an important issue when designing a LED product.

For LEDs, choose an appropriate operation environment and conduct the heat to the air after light on LEDs may maintain the better performance and lifetime. Four major thermal path are as follow:

- (1) From heat source (component) to heat sink. (By conduction)
- (2) Conduction from within the heat sink to its surface. (By conduction)
- (3) Transfer from the surface to the surrounding air. (By convection)
- (4) Emit heat from the heat sink surface. (By Radiation)



Path(1): The contact surface of the component and heat sink are not perfectly flat, they are not able to meet each other completely. Air between these two materials will result high thermal resistance and reduce the effect of heat transfer. To enhance the ability of thermal conduction, one common method is applying thermal grease between the two interfaces and use the screws to enforce the adhesion between two surface.



## Recommended thermal Grease Parameters

Characteristics	Value	Unit
Thermal Conductivity (K)	>3.0	W/m*K
Thickness	≤0.1	mm



- LED street lighting
- LED fishing lamp
- LED harbor lighting
- LED building architectural lighting
- LED greenhouse lighting
- LED bay lighting
- Type "HL" for use in Class I, Division 2 hazardous (Classified) location.

HLG-320H-C series is a 320W LED AC/DC LED power supply featuring the constant current mode and high voltage output. HLG-320H-C operates from 90~305VAC and offers models with different rated current ranging between 700mA and 3500mA. Thanks to the high efficiency up to 94%, with the fanless design, the entire series is able to operate for -40°C ~ +85°C case temperature under free air convection. The design of metal housing and IP67/IP65 ingress protection level allows this series to fit both indoor and outdoor applications. HLG-320H-C is equipped with various function options, such as dimming methodologies, so as to provide the optimal design flexibility for LED lighting system.

**HLG - 320H - C1050 A**

Function options  
Rated output current(700/1050/1400/1750/2100/2800/3500mA)  
High input voltage up to 305VAC  
Rated wattage  
Series name

Type	IP Level	Function	Note
A	IP65	Io adjustable through built-in potentiometer.	In Stock
B	IP67	3 in 1 dimming function (0~10Vdc, 10V PWM signal and resistance)	In Stock



320W Constant Current Mode LED Driver

HLG-320H-C series

## SPECIFICATION

MODEL	HLG-320H-C700	HLG-320H-C1050	HLG-320H-C1400	HLG-320H-C1750	HLG-320H-C2100	HLG-320H-C2800	HLG-320H-C3500
OUTPUT	RATED CURRENT	700mA	1050mA	1400mA	1750mA	2100mA	3500mA
	RATED POWER	299.6W	320.25W	320.6W	320.25W	319.2W	318.5W
	CONSTANT CURRENT REGION (Note 2)	214 ~ 428V	152 ~ 305V	114 ~ 229V	91 ~ 183V	76 ~ 152V	46 ~ 91V
	OPEN CIRCUIT VOLTAGE (max.)	435V	311V	234V	187V	156V	95V
	CURRENT ADJ. RANGE	Adjustable for A-Type only (via built-in potentiometer)					
		350 ~ 700mA	525 ~ 1050mA	700 ~ 1400mA	875 ~ 1750mA	1050 ~ 2100mA	1400 ~ 2800mA
	CURRENT RIPPLE	5.0% max. @rated current					
INPUT	CURRENT TOLERANCE	±5%					
	SET UP TIME	Note 4 1000ms/115VAC, or 500ms/230VAC					
	VOLTAGE RANGE	Note 3 90 ~ 305VAC 127 ~ 431VDC (Please refer to "STATIC CHARACTERISTIC" section)					
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz					
	POWER FACTOR (Typ.)	PF ≥ 0.98/115VAC or PF ≥ 0.95/230VAC or PF ≥ 0.92/277VAC @full load (Please refer to "POWER FACTOR (PF) CHARACTERISTIC" section)					
	TOTAL HARMONIC DISTORTION	THD < 20% @ ≥ 50% load/115VAC, or 230VAC, or @ ≥ 70% load/277VAC (Please refer to "TOTAL HARMONIC DISTORTION" section)					
	EFFICIENCY (Typ.)	94%	94%	94%	94%	94%	94%
	AC CURRENT (Typ.)	3.5A / 115VAC	1.65A / 230VAC	1.45A / 277VAC			
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 70A (I <sub>avg</sub> =120A, measured at 50% (peak) at 230VAC; Per NEMA 410)					
	MAX. No. of PSUs on 16A CIRCUIT BREAKER	2 units (circuit breaker of type B) / 3 units (circuit breaker of type C) at 230VAC					
PROTECTION	LEAKAGE CURRENT	<0.75mA/277VAC					
	SHORT CIRCUIT	Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed					
	OVER VOLTAGE	436 ~ 460V	320 ~ 352V	235 ~ 252V	192 ~ 211V	160 ~ 175V	120 ~ 132V
ENVIRONMENT		Shut down and latch off o/p voltage, re-power on to recover					
	OVER TEMPERATURE	Shut down and latch off o/p voltage, re-power on to recover					
	WORKING TEMP.	T <sub>case</sub> = -40 ~ +85°C (Please refer to "OUTPUT LOAD VS TEMPERATURE" section)					
	MAX. CASE TEMP.	T <sub>case</sub> = +85°C					
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 95% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +80°C, 10 ~ 95% RH					
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)					
SAFETY & EMC	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 5G 12min./cycle, period for 72min. each along X, Y, Z axes					
	SAFETY STANDARDS	Note 5 UL8750 (Type "HL"), CSA C22.2 No. 250.13-12, ENEC EN61347-1, EN61347-2-13, EN62384 independent; IP65 or IP67 approved					
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P: 3.75KVAC I/P-FG: 2KVAC O/P-FG: 1.5KVAC					
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG: 100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH					
OTHERS	EMC EMISSION	Compliance to EN55015, EN61000-3-2 Class C (≥ 50% load); EN61000-3-3					
	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, EN61547, light industry level (surge immunity Line-Earth 4KV, Line-Line 2KV)					
	MTBF	168.2K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)					
NOTE	DIMENSION	252*90*43.8mm (L*W*H)					
	PACKING	1.88Kg; 6pcs/18Kg/0.92CUFT					

1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated current and 25°C of ambient temperature.
2. Please refer to "DRIVING METHODS OF LED MODULE".
3. Die rating may be needed under low input voltages. Please refer to "STATIC CHARACTERISTICS" sections for details.
4. Length of set up time is measured at first cold start. Turning ON/OFF the power supply may lead to increase of the set up time.
5. The power supply is considered as a component that will be operated in combination with final equipment. Since EMC performance will be affected by the complete installation, the final equipment manufacturers must re-qualify EMC Directive on the complete installation again.
6. To fulfill requirements of the latest ErP regulation for lighting fixtures, this LED power supply can only be used behind a switch without permanently connected to the mains.
7. This series meets the typical life expectancy of >62,000 hours of operation when T<sub>case</sub>, particularly Ⓢ point (or TMP, per DLC), is about 75°C or less.
8. Please refer to the warranty statement on MEAN WELL's website at <http://www.meanwell.com>

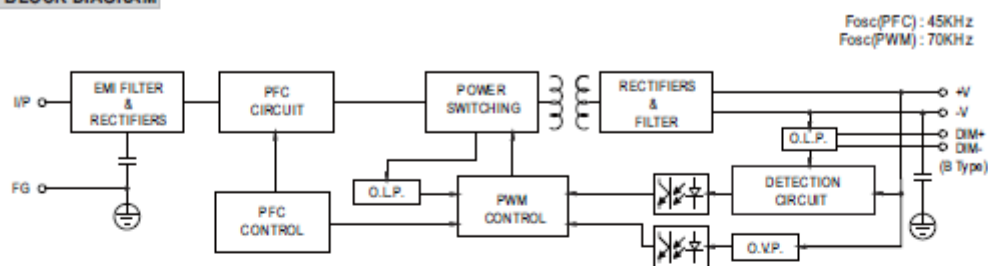
File Name: HLG-320H-C-SPEC 2016-03-11



320W Constant Current Mode LED Driver

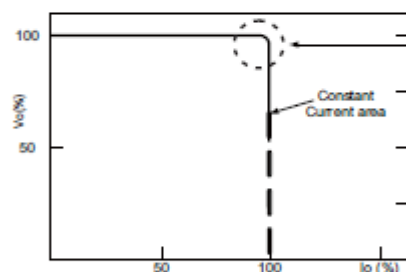
**HLG-320H-C series**

#### ■ BLOCK DIAGRAM



#### ■ DRIVING METHODS OF LED MODULE

※ This series works in constant current mode to directly drive the LEDs.



In the constant current region, the highest voltage at the output of the driver depends on the configuration of the end systems.  
Should there be any compatibility issues, please contact MEAN WELL.

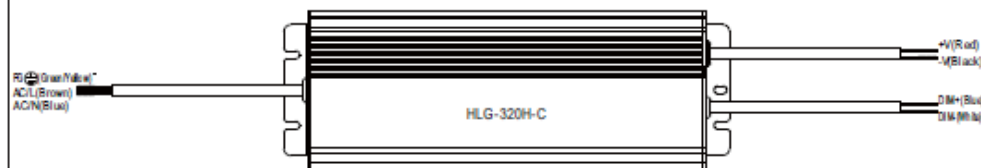
File Name: HLG-320H-C-SPEC 2016-03-11



320W Constant Current Mode LED Driver

HLG-320H-C series

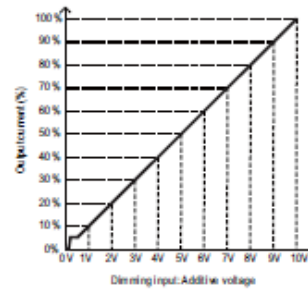
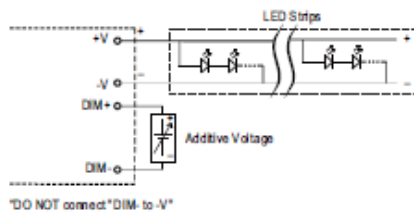
### DIMMING OPERATION



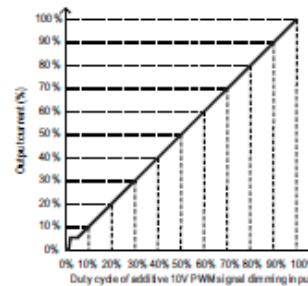
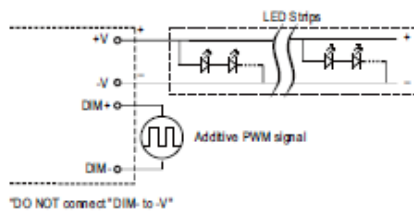
#### ※ 3 in 1 dimming function (for B-Type)

- Output constant current level can be adjusted by applying one of the three methodologies between DIM+ and DIM-: 0 ~ 10VDC, or 10V PWM signal or resistance.
- Direct connecting to LEDs is suggested. It is not suitable to be used with additional drivers.
- Dimming source current from power supply: 100 $\mu$ A (typ.)

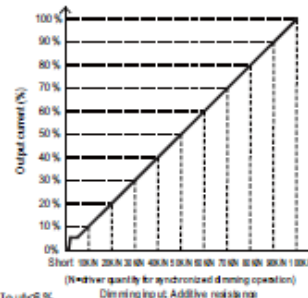
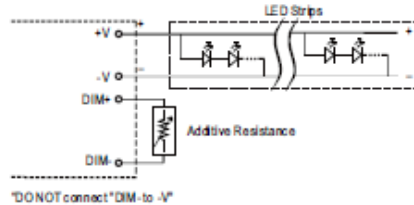
#### ○ Applying additive 0 ~ 10VDC



#### ○ Applying additive 10V PWM signal (frequency range 100Hz ~ 3KHz):



#### ○ Applying additive resistance:



- Note : 1. Min. dimming level is about 6% and the output current is not defined when 0% < I<sub>out</sub> < 6%.  
2. The output current could drop down to 0% when dimming input is about 0k $\Omega$  or 0Vdc, or 10V PWM signal with 0% duty cycle.

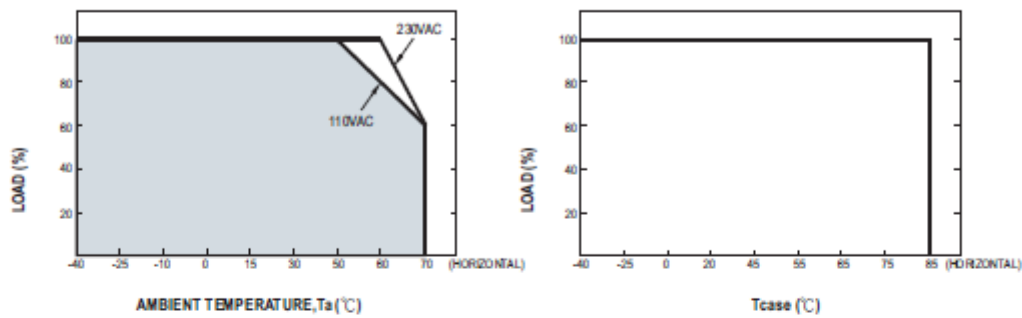
File Name: HLG-320H-C-SPEC 2016-03-11



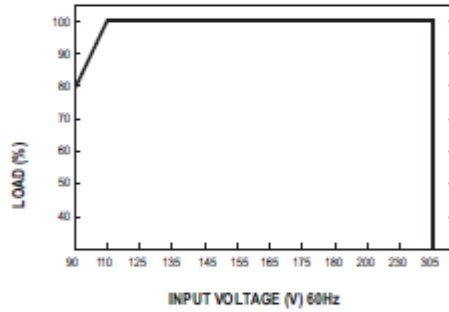
320W Constant Current Mode LED Driver

**HLG-320H-C series**

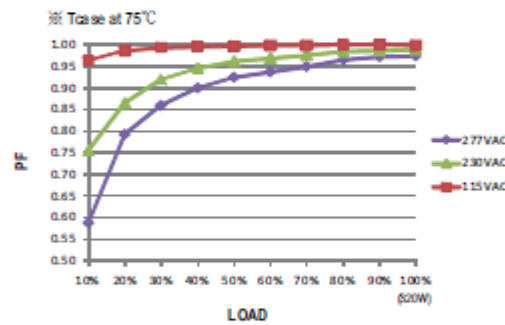
#### ■ OUTPUT LOAD vs TEMPERATURE



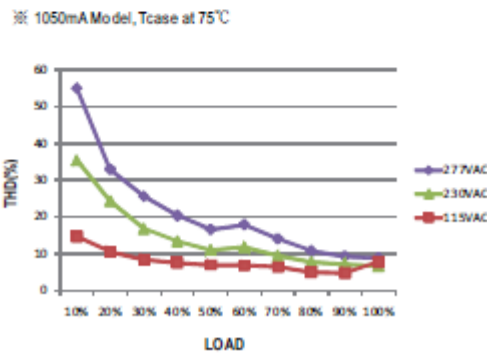
#### ■ STATIC CHARACTERISTIC



#### ■ POWER FACTOR (PF) CHARACTERISTIC



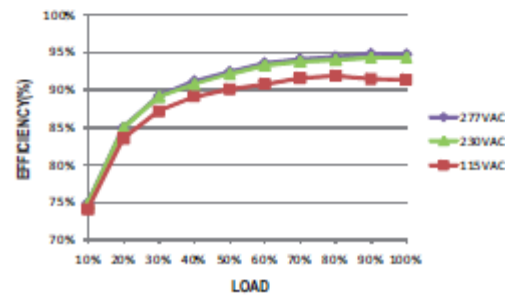
#### ■ TOTAL HARMONIC DISTORTION (THD)



#### ■ EFFICIENCY vs LOAD

HLG-320H-C series possess superior working efficiency that up to 94% can be reached in field applications.

1050mA Model, Tcase at 75°C



File Name: HLG-320H-C-SPEC 2016-03-11

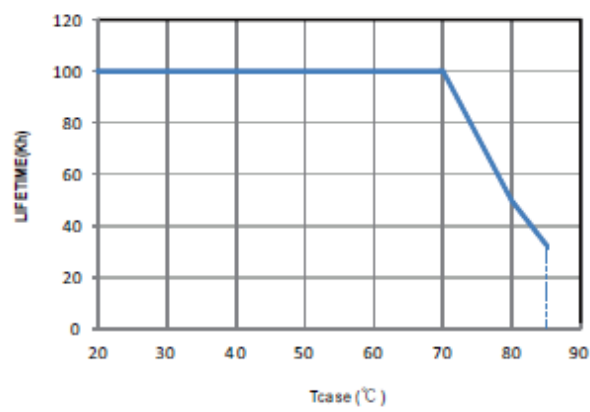




320W Constant Current Mode LED Driver

**HLG-320H-C** series

■ LIFE TIME

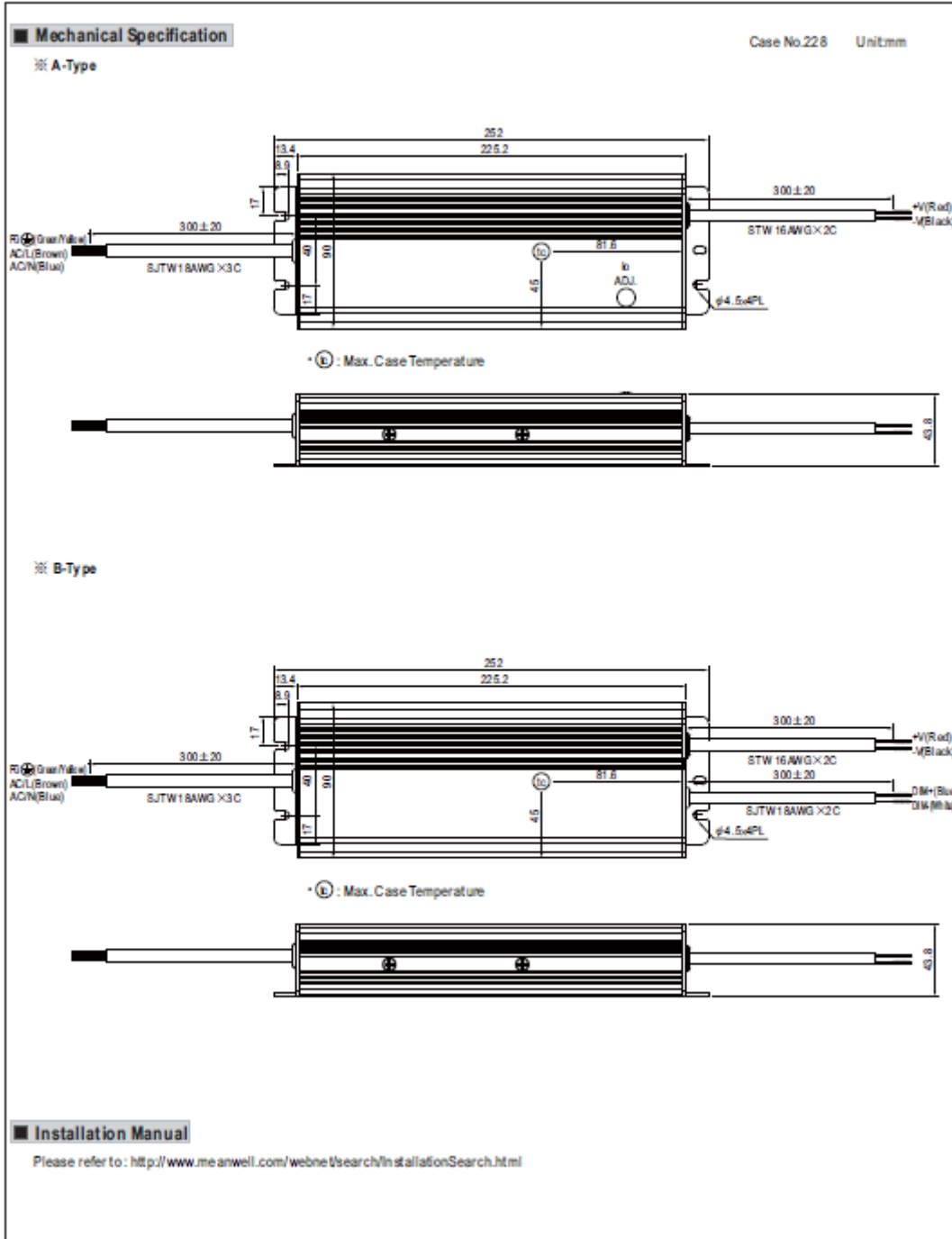


File Name: HLG-320H-C-SPEC 2016-03-11



320W Constant Current Mode LED Driver

**HLG-320H-C series**



File Name:HLG-320H-C-SPEC 2016-03-11